



INDICE

IL MONITORAGGIO DEGLI IMPIANTI	2
Descrizione impianti	3
La S.O.B.E.A.	3
Il Thermochemical Power Group	4
1.0 LO SCENARIO DI RIFERIMENTO.....	5
2.0 LE CONSIDERAZIONI PROGETTUALI.....	8
3.0 FASE OPERATIVA.....	9
L'IMPIANTO DI CAMPOLIGURE.....	10
A) Fase 0: Individuazione preliminare dei parametri.....	11
B) Fase 1: Monitoraggio del biocombustibile.....	12
C) Fase 2: Monitoraggio Impianti.....	25
D) Fase 3: Analisi dei Consumi e delle Richieste Termiche.....	27
E) Fase 4: Analisi dei parametri funzionali impiantistici.....	32
L'IMPIANTO DI ROSSIGLIONE.....	45
F) Fase 0: Individuazione preliminare dei parametri.....	46
G) Fase 1: Monitoraggio del biocombustibile.....	47
H) Fase 2: Monitoraggio Impianti.....	60
I) Fase 3: Analisi dei Consumi e delle Richieste Termiche.....	62
J) Fase 4: Analisi dei parametri funzionali impiantistici.....	67
I DUE IMPIANTI NEL COMPLESSIVO.....	81
L) Valori globali.....	81
M) Analisi delle perdite à dei blocchi di impianto.....	85
4.0 CONCLUSIONI.....	98
ALLEGATO A: Allegato fotografico	



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

IL MONITORAGGIO DEGLI IMPIANTI

Le centrali termiche a biomassa di Campo Ligure e Rossiglione sono state operative dal 15 Ottobre 2007 al 15 Aprile 2008 secondo quanto previsto dal D.P.R. 412/93 per aree rientranti in zona climatica E che stabilisce in 183 giorni il periodo di esercizio annuo dell'impianto termico e in 14 ore la durata giornaliera.

La presente relazione analizza gli impianti a biomassa forestale di Rossiglione e Campo Ligure relativamente alla stagione termica 2007-2008, che costituisce la terza stagione di funzionamento completo. Verranno quindi osservati i parametri caratteristici e verificato il loro andamento anche in rapporto alle stagioni precedenti, nonché l'incidenza delle migliorie apportate sulla base delle indicazioni ricavate dalle relazioni relative agli anni scorsi.

L'obiettivo dell'attività di monitoraggio qui riportata è dunque quello di osservare in tutte le sue fasi il funzionamento degli impianti al fine di individuarne le criticità e gli interventi necessari per l'ottimizzazione del sistema sia dal punto di vista economico che funzionale.

L'importanza dell'attività svolta assume ancora maggior rilievo in considerazione della nuova entrata in funzione, a partire dalla prossima stagione termica, di un terzo impianto di teleriscaldamento a biomasse forestali nel comune di Masone (1200 kWh).

La possibilità di avere maturato una discreta esperienza di gestione in impianti analoghi consentirà infatti di partire già da un sistema sufficientemente ottimizzato, sul quale poter comunque operare ulteriori miglioramenti.

L'attività di monitoraggio di cui nel presente documento prenderà in considerazione il funzionamento degli impianti a biomassa forestale relativamente al periodo compreso tra il 15 Ottobre 2007 ed il 31 Marzo 2008, dal momento che dal 1° Aprile gli impianti hanno funzionato in discontinuo.



DESCRIZIONE IMPIANTI

L'impianto di **Campo Ligure** è costituito da una caldaia Uniconfort ad acqua calda della potenza nominale di circa 700 kW termici; la rete di teleriscaldamento ha una lunghezza complessiva di 800 metri circa; le utenze asservite sono 3 per un totale di 5 sottostazioni:

- Municipio; (caldaia di supporto a metano)
- Scuola Media (Istituto Rosselli); (caldaia di supporto a metano)
- Palazzetto dello sport (3 sottostazioni). (caldaia di supporto a metano)

L'impianto di **Rossiglione** è costituito da una caldaia Uniconfort ad acqua calda della potenza nominale di circa 1200 kW termici circa; la rete di teleriscaldamento ha una lunghezza complessiva di 1500 metri circa; le utenze asservite sono 4 (4 sottostazioni):

- Municipio-Cinema; (caldaia di supporto a gasolio)
- Scuola Media; (caldaia di supporto a metano)
- Croce Rossa Italiana; (caldaia di supporto a metano)
- Ospedale Barigione; (caldaia di supporto a metano)

LA S.O.B.E.A.

La S.O.B.E.A (Stura Orba Bosco Energia Ambiente) è una società consortile a maggioranza pubblica (75%) istituita per la gestione degli impianti. Le sue funzioni principali possono essere così sintetizzate:

- ✓ Controllo sulla provenienza delle Biomasse
- ✓ Gestione impianti
- ✓ Attività collaterali di ottimizzazione energetica
- ✓ Ristorni consortili - per interventi sul territorio
- ✓ Interfaccia con Regione Liguria e Università per dati di monitoraggio



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

IL THERMOCHEMICAL POWER GROUP

Il Dipartimento di Macchine Sistemi Energetici e Trasporti (DIMSET) dell'Università di Genova opera da lungo tempo nel campo della modellizzazione ed analisi sperimentale dei sistemi energetici, dei motori a combustione interna, delle turbomacchine.

All'interno del DIMSET opera il Thermochemical Power Group (TPG – www.tpg.unige.it), diretto dal Prof. A.f. Massardo, ordinario di Macchine a Fluido e vicepresidente della Facoltà di Ingegneria. Il TPG è costituito da circa 6 fra professori e ricercatori, oltre a 18 fra assegnisti (12) e dottorandi (6), ed ha il compito di condurre attività di studio nel campo dei sistemi energetici avanzati, con particolare riguardo da un lato allo sviluppo di procedure di calcolo innovative di base (analisi di off-design, di transitorio, dinamiche, analisi termoeconomiche, environomiche, ecc.) e dall'altro all'analisi del comportamento di sistemi avanzati (cicli misti, sistemi di gassificazione delle biomasse, turbine a combustione esterna, sistemi ibridi con celle a combustibile, sistemi di sequestration della CO₂, ecc.).

Il TPG ha numerose collaborazioni internazionali nel campo dei sistemi energetici avanzati. In particolare per ciò che riguarda le microturbine a gas, le celle a combustibile ad ossidi solidi ed i sistemi ibridi sono attive collaborazioni con Rolls Royce, Alstom, ITC, Turbec, Turbomeca, Ansaldo Ricerche, ENEL Produzione, EPS, Mc Donald Thermal Eng. e varie Università nazionali e straniere. Il TPG dispone di finanziamenti provenienti dalla Commissione Europea (VI programma quadro), da enti pubblici nazionali (CNR, MURST, ASI), e da numerose società private nazionali e straniere operanti nel settore energetico (Sorgenia, Ansaldo, EGL).

All'interno del TPG è stato istituito nel 2000 un gruppo di ricerca sulle energie rinnovabili, composto da 5 persone ed avente come referente l'Ing. Luca Marigo.



1.0 LO SCENARIO DI RIFERIMENTO

Gli impianti alimentati a biomassa forestale all'interno della Comunità Montana delle Valli Stura ed Orba, due funzionanti dai primi del 2005 (Rossiglione, Campoligure), ed uno in fase di avvio (Masone) potrebbero divenire i precursori di numerose altre iniziative simili realizzabili sul territorio ligure.

E' inutile sottolineare nuovamente concetti che sono ormai noti a tutti e che costituiscono la finalità primaria del piano energetico regionale (propensione verso la generazione distribuita da fonti rinnovabili locali), ma è certo che l'importanza della realizzazione dei tre impianti è fortemente legata alla loro ripetibilità in altre realtà locali.

Le centrali di Rossiglione e di Campo Ligure (oltre che quella di Masone ancora in fase di cantiere per ritardi dovuti alle autorità locali) sono il frutto dell'unione delle forze del servizio Energia e degli enti progettisti (DIMSET, 3E, STAF, Studio Tecnico Gandini), ma il lavoro eseguito scrupolosamente e con grande professionalità potrebbe rivelarsi poco produttivo qualora non si fosse in grado di ripetere le esperienze accumulate in fase di progettazione, realizzazione e gestione degli impianti in altre realtà del territorio ligure, peraltro molto adatto a favorire lo sviluppo di simili iniziative.

In questo scenario, si inserisce l'attività di monitoraggio effettuata sugli impianti alimentati a biomassa forestale all'interno della Comunità Montana delle Valli Stura ed Orba. Tale attività si prefigge lo scopo di analizzare i principali parametri tecnici e tecnologici degli impianti per ottimizzarne il funzionamento e per garantire una futura ripetibilità delle esperienze accumulate in fase di progettazione, realizzazione e gestione in altre realtà del territorio ligure.

La "sola" realizzazione dei tre impianti pilota (Campo Ligure, Masone e Rossiglione) non giustificherebbe gli ingenti sforzi fatti dai progettisti, dai costruttori e soprattutto dalla Regione Liguria, che ha stanziato un'ingente somma di denaro credendo molto nella buona riuscita dell'iniziativa.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

Per questo motivo lo svolgimento di un meticoloso e continuativo lavoro di monitoraggio, permette di validare a consuntivo le previsioni fatte in ambito energetico, economico e funzionale, ma anche di stilare delle preziose linee guida per potere usufruire in altri progetti delle esperienze acquisite in Valle Stura.

Il risultato finale di questo lavoro permette di abbassare di molto i costi di progettazione, realizzazione e soprattutto gestione degli impianti a biomassa, permettendone un più rapido sviluppo sul territorio ligure, fino ad oggi incapace di usufruire a dovere di una risorsa così importante come la biomassa forestale.

Il prodotto finale potrebbe anche garantire una base di partenza per la ricerca e l'innovazione tecnologica al fine di un migliore sfruttamento delle risorse locali e del risparmio energetico, inteso come risultato dell'ottimizzazione delle risorse e delle efficienze impiantistiche.

La fase di monitoraggio rappresenta quindi il vero valore aggiunto di tale progetto e deve essere condotta con criteri che possano definire una scala di giudizio per valutare l'efficienza dell'intervento, per predisporre una rete di informazione per la tempestiva divulgazione dei dati e per definire con esattezza i range qualitativi e quantitativi che permettono ai risultati ottenuti di essere considerati idonei per uno studio successivo.

In questa analisi è stato condotto un monitoraggio energetico – funzionale ed impiantistico sia sulle risorse che sui prodotti del processo in esame: sono stati definiti i parametri più significativi che caratterizzano gli input e gli output del sistema, sono state individuate le procedure e gli strumenti per il calcolo di tali parametri e quindi le modalità con cui tali parametri sono stati calcolati.

Lo scopo di quest'analisi è anche quello di poter fornire delle relazioni "empiriche" tra gli input e gli output del sistema, potendole confrontare con quelle di progetto, potendo stabilire quanto le variazioni dei primi influenzino i secondi, valutando le principali criticità del processo e dando la possibilità di poter definire i migliori interventi per il miglioramento della sua efficienza.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

Nel contesto di un sistema in cui la risorsa del processo proviene dal territorio in cui esso si inserisce è di fondamentale importanza poter valutare con continuità le proprietà di tale risorsa per poter definire le migliori strategie di approvvigionamento, le migliori zone da cui rifornirsi, l'effettivo valore economico di tale risorsa; allo stesso modo poter fornire dati precisi sui prodotti del processo (sia quelli "utili" che quelli di scarto) permette da un lato di valutare con esattezza quantità e qualità dei prodotti che rappresentano lo scarto del processo, determinando l'influenza che essi hanno sulla sua efficienza, sulla sua economicità, più in generale sulla sua qualità, dall'altro di definire con esattezza il reale beneficio apportato a chi del prodotto "utile" usufruisce, sia in termini economici che di benessere in generale, di individuare le migliori strategie di distribuzione di tale prodotto e di fornire stime di previsione sulle sue caratteristiche, di mettere in relazione con precisione tale prodotto con la risorsa da cui esso è originato.

Risulta, in questo contesto, di fondamentale importanza quindi il monitoraggio dei parametri relativi all'elemento che collega fra loro i prodotti di scarto a quelli "utili" e questi ultimi alla risorsa, realizzando il processo che permette questo collegamento; attraverso tale monitoraggio si possono individuare le migliori condizioni operative che minimizzano le perdite del sistema e la produzione dei prodotti di scarto, le condizioni in cui si ha un consumo minimo della risorsa, una produzione massima del prodotto "utile" od un compromesso tra le due situazioni, i parametri sui cui intervenire nel caso di malfunzionamento del sistema individuando quelli particolarmente critici e quindi da tenere maggiormente sotto controllo, per il suo corretto funzionamento.



2.0 LE CONSIDERAZIONI PROGETTUALI

Prima di iniziare a descrivere le attività di monitoraggio condotte ed i risultati ad esse relativi è necessario fare alcune precisazioni.

I rendimenti complessivi di entrambi gli impianti che si sono venuti a delineare nella prima stagione di monitoraggio sono stati decisamente inferiori rispetto ai dati teorici auspicabili, ma in linea con quelli attesi.

In fase di progettazione il dimensionamento delle centrali termiche è stato condotto secondo quanto specificato dall'attuale normativa vigente (Legge 10/91) che prospetta scenari di fabbisogno termico molto distanti dalle situazioni reali (numero di ricambi d'aria superiori a quelli effettivi, fattori di contemporaneità spesso inesistenti, etc.) e secondo il DPR 412 relativo ai periodi di riscaldamento dei diversi comuni italiani; questo ha determinato un dimensionamento delle centrali in riferimento ai periodi di massima richiesta contemporanea di tutte le utenze, con conseguente ed inevitabile funzionamento degli impianti in condizioni di potenza molto lontana dai valori nominali di targa per la maggiore parte del periodo di funzionamento.

Questa precisazione è necessaria come chiave di lettura dell'intero documento in oggetto per fare comprendere in modo inequivocabile al lettore che **il funzionamento non ottimale delle centrali non deriva da scelte progettuali errate**, ma dai limiti imposti dalla legislazione vigente al momento della progettazione, scritta per impianti tradizionali, dove i costi capitali sono inferiori ed il combustibile ha problematiche di reperimento molto più semplici; nonché dalla scelta del Committente di sovradimensionare gli impianti in previsione di futuri nuovi allacci.



3.0 LA FASE OPERATIVA

La seguente attività di monitoraggio è stata sviluppata considerando essenzialmente gli aspetti impiantistici, funzionali ed energetici degli impianti, senza prendere in considerazione aspetti ambientali, socio-culturali ed economici a causa del limitato budget a disposizione.

In particolare l'attività di monitoraggio consiste in 5 + 1 fasi operative:

- ✓ **Fase 0:** Programmazione del monitoraggio (definizione di metodologie, parametri, errori di misura, strumenti)
- ✓ **Fase 1:** Monitoraggio del biocombustibile (densità, peso, contenuto idrico ed umidità, provenienza catastale, potere calorifico, classificazione secondo la nomenclatura svizzera)
- ✓ **Fase 2:** Campagna di monitoraggio impianti (periodi di funzionamento, manutenzione ordinaria e straordinaria, caratteristiche impiantistiche durante il periodo di funzionamento a regime ed in transitorio).
- ✓ **Fase 3:** Analisi dei consumi (richiesta termica delle utenze – giornaliera, settimanale e mensile).
- ✓ **Fase 4:** Elaborazione dati per la definizione dei parametri impiantistici di output (curve di carico, rendimenti, ore macchina, vita dei componenti principali, etc.).
- ✓ **Monitoraggio filiera:** non può essere identificato in un'unica fase, consiste nel monitoraggio dell'intera filiera bosco-energia con particolare riferimento alla parte relativa alle attività di esbosco, trasporto e cippatura del legno ed al suo stoccaggio. Attualmente l'attività è svolta da STAF (Studio Tecnico Agro-Forestale), dalla stagione 2007-2008 (stagione in oggetto) verrà seguita anche dal TPG.

La divisione delle attività nelle cinque fasi operative è stata effettuata non solo per definire un approccio metodologico rigoroso ma anche per potere distinguere le diverse aree di monitoraggio; in parole povere, si è cercato di condurre nelle Fasi 1, 2 e 3 un'analisi distinta tra ciò che riguarda il biocombustibile, ciò che riguarda la centrale termica e ciò che riguarda la rete e le utenze (Schema 1).



Università degli Studi di Genova

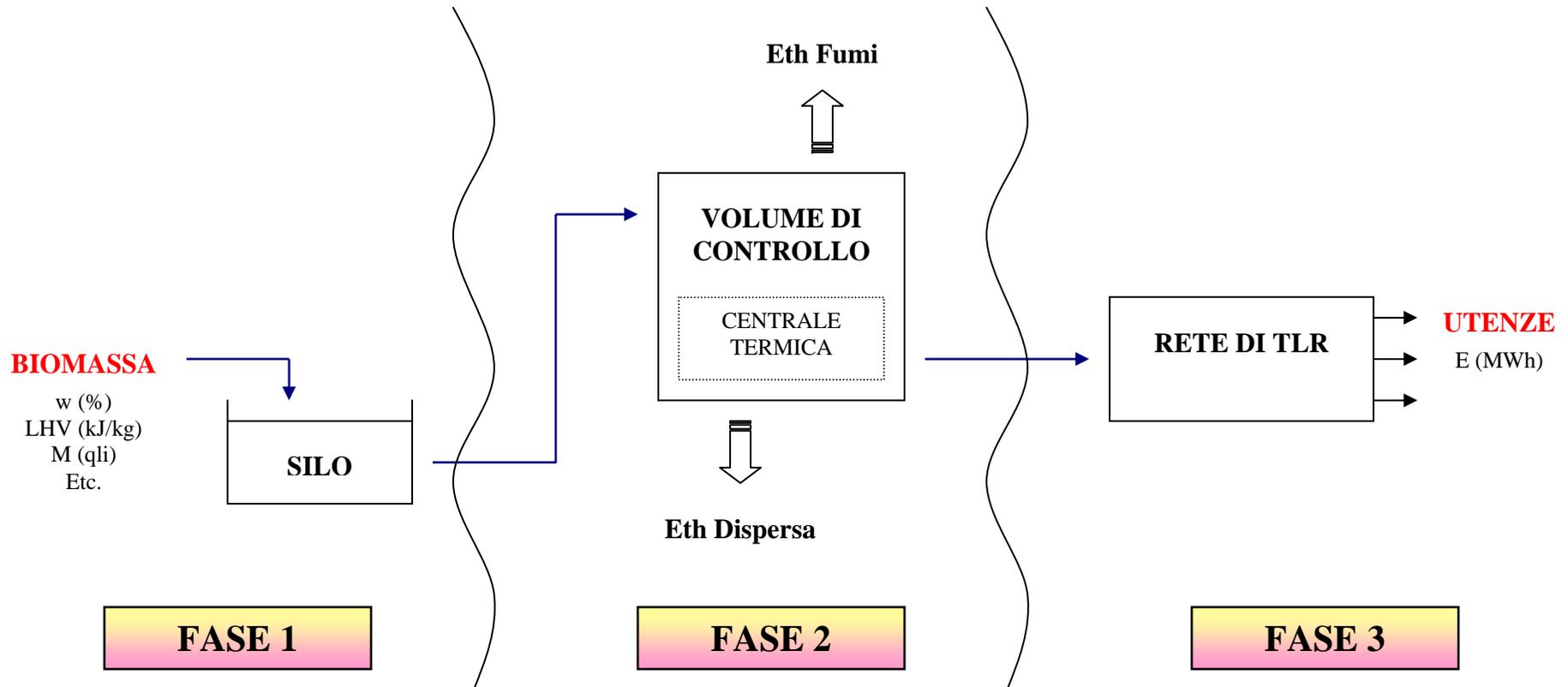


Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

Questo per potere analizzare separatamente questi tre aspetti del monitoraggio, analizzati, invece, in sinergia durante l'elaborazione dei risultati (Fase 4).

Inoltre i due impianti di Campo Ligure e di Rossiglione sono stati esaminati dapprima separatamente, successivamente nel complesso.



Schema 1: Approccio metodologico dell'attività di monitoraggio



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



IMPIANTO DI CAMPO LIGURE



A) FASE 0 : INDIVIDUAZIONE PRELIMINARE DEI PARAMETRI.

Tale fase consiste nell'individuazione preliminare dei parametri oggetto del monitoraggio, nella definizione delle motivazioni della loro scelta e delle metodologie di misura, cioè le procedure standard che sono state utilizzate per eseguire le misure dei parametri scelti al fine che questi risultino il più possibile chiari e comprensibili.

Sono state individuate due differenti tipologie di parametri:

- I parametri energetici, che si riferiscono al processo energetico vero e proprio e coinvolgono grandezze quali la biomassa, le ceneri, i fumi di scarico, l'energia termica prodotta dal processo;
- I parametri funzionali, che si riferiscono alle condizioni operative in cui i componenti che realizzano il processo si trovano a funzionare e che quindi definiscono i guasti, i tempi riservati alla manutenzione ordinaria ed a quella straordinaria, gli arresti dovuti ad un blocco del funzionamento del processo di combustione ecc.

I *parametri energetici* monitorati riguardano le caratteristiche delle seguenti grandezze:

- ✓ Cippato
- ✓ Ceneri
- ✓ Rendimenti del processo di conversione
- ✓ Energia prodotta dal processo e consumi

I *parametri funzionali* monitorati riguardano:

- ✓ Parametri di funzionamento caldaie
- ✓ Temperature circuito di teleriscaldamento
- ✓ Manutenzione straordinaria
- ✓ Manutenzione ordinaria

In particolare le caratteristiche del biocombustibile sono state monitorate nella Fase 1, mentre gli altri parametri energetici ed impiantistici sono stati monitorati nelle Fasi 2 e 3.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

B) FASE 1: MONITORAGGIO DEL BIOCOMBUSTIBILE.

Gli impianti di teleriscaldamento oggetto della seguente attività di monitoraggio sono alimentati a cippato forestale **completamente proveniente dal taglio del legno vergine dei boschi della Comunità Montana Valli Stura ed Orba.**

In generale, il cippato è composto dai pezzetti di legno ricavati dal taglio del legno vergine o dagli scarti delle segherie che lavorano legno proveniente da piante, privo quindi di sostanze inquinanti come vernici, impregnanti, colle e simili.

Il termine cippato deriva dal vocabolo inglese “chipping” che significa ridurre in scaglie; l’operazione di cippatura consiste nel ridurre il legno in scaglie e chips di dimensioni variabili (2-10 cm di lunghezza e spessore di qualche millimetro) per mezzo di apposite macchine chiamate cippatrici.

Le operazioni di taglio del legno vergine, di cippatura e di trasporto del biocombustibile alla bocca di impianto sono condotte da una società denominata “Agrifor” appartenente al consorzio forestale Valli Stura ed Orba. L’operazione di cippatura viene effettuata in un’apposita area vicino al bosco e distante rispettivamente 3 e 9 chilometri dalle caldaie di Campo Ligure e Rossiglione.

Normalmente il legno vergine viene direttamente cippato dopo il taglio e portato nei silos di stoccaggio degli impianti; solo raramente viene accumulato nell’area di cippatura. Tale procedura, se da un lato permette di ridurre i costi operativi di approvvigionamento e stoccaggio, dall’altro è la principale causa dell’alto contenuto idrico del biocombustibile che non ha modo di essere parzialmente essiccato a contatto con l’aria.

Dal 2006 si è avviata, inizialmente a livello di sperimentazione, una stagionatura naturale all’aperto di circa 6 mesi del legno vergine da cippare; questo è stato quindi utilizzato per un breve periodo compreso tra Gennaio e Febbraio 2007 nella ricarica dei silos con buoni risultati in termini di prestazioni degli impianti. Alla luce del miglioramento riscontrato si è provveduto a stagionare quantitativi maggiori di cippato vergine cosicché nella stagione termica 2007-2008 in esame gli impianti sono stati alimentati quasi totalmente con cippato parzialmente stagionato.



La Fase 1 consiste nella definizione e misura delle principali caratteristiche chimico-fisiche del cippato.

In particolare sono state monitorate le caratteristiche sotto riportate:

- ✓ Umidità
- ✓ Massa volumica
- ✓ Peso
- ✓ Potere calorifico
- ✓ Provenienza
- ✓ Pezzatura

Alcune delle misurazioni sono state effettuate sulla popolazione completa di biocombustibile (peso, provenienza, volume), mentre altre, per ovvie ragioni di campionamento, sono state effettuate su una popolazione ristretta di 50 campioni da circa 3 chilogrammi ciascuno.

UMIDITÀ E CONTENUTO IDRICO

L'umidità del cippato esprime la massa di acqua presente in esso in rapporto alla massa del legno anidro [B.1]

$$u = \frac{Mu - Ma}{Ma} * 100 \quad (\%) \quad [B.1]$$

Mu: massa del legno umido

Ma: massa del legno secco (anidro)

Il contenuto idrico del cippato esprime la massa di acqua presente in esso in rapporto alla massa di legno fresco [B.2].

$$w = \frac{Mu - Ma}{Mu} * 100 \quad (\%) \quad [B.2]$$



E' possibile passare dal contenuto idrico w all'umidità u e viceversa mediante le [B.3] e [B.4].

$$u = \frac{100 * w}{100 - w} \quad (\%) \quad [B.3]$$

$$w = \frac{100 * u}{100 - u} \quad (\%) \quad [B.4]$$

Questa caratteristica è importante per diverse ragioni: in primo luogo la quantità di acqua presente modifica il contenuto energetico del cippato (indicativamente si passa, per un cippato generico, da 4 kWh/kg con un contenuto idrico del 20% a 3.4 kWh/kg con un contenuto idrico del 30%) con ovvie implicazioni sul processo di combustione (riduzione del rendimento). In secondo luogo, al variare del contenuto idrico, varia la massa volumica del cippato (peso per unità di volume) con implicazioni di carattere economico, logistico ed impiantistico: se il prezzo del cippato fosse stabilito per unità di peso, un maggiore contenuto di acqua, oltre a degradarne le caratteristiche energetiche, farebbe aumentare tale prezzo; a parità di peso, un cippato con maggiore contenuto idrico occuperebbe volumi maggiori, modificando le capacità dei sistemi atti a contenerlo sia per il trasporto che per lo stoccaggio; all'aumentare del contenuto idrico della materia prima, aumenta il quantitativo di condensa che può formarsi all'interno per esempio del silo di stoccaggio, con evidenti problemi legati all'azione dannosa che l'acqua può provocare sia alle strutture in muratura che ai sistemi meccanici (quali la coclea di alimentazione) o elettrici. Maggiore contenuto idrico del cippato si traduce anche in un aumento del vapore acqueo in camera di combustione che provoca un aumento delle formazioni di incrostazioni calcaree o la possibilità di formazione di soluzioni corrosive con conseguente aumento dei tempi e dei costi di manutenzione.

L'analisi del contenuto idrico della biomassa è stata condotta tramite misurazione diretta con "bilancia ad induzione" su almeno 3 diversi campioni per ogni carico dei silos, per un totale di quasi 200 campioni analizzati. Inoltre al fine di verificare la bontà della



misura dello strumento, per 20 campioni si è proceduto all'analisi in laboratorio già utilizzata nelle precedenti stagioni termiche. Con quest'ultima metodologia, per ogni campione, il contenuto idrico viene misurato portando la biomassa fino alla temperatura di 105° C e mantenendola per un tempo di circa 8 ore; oltre a tale intervallo di tempo l'umidità rimane praticamente invariata ad un successivo riscaldamento del cippato, pertanto si è ritenuto che dopo tale periodo si sia verificata la completa evaporazione della massa liquida.

Nella Figura B.1 è riportato il contenuto idrico (%) dei diversi campioni di cippato; è possibile convertire ogni valore del contenuto idrico in valori di umidità e viceversa mediante la Tabella B.1

L'andamento della curva risulta abbastanza simile, nella forma, a quello delle stagioni precedenti ma risulta notevolmente traslato verso sinistra avendo il picco di frequenza intorno al 30% mentre nelle passate annate monitorate era localizzato in valori compresi tra il 45-50%. Ne consegue un forte miglioramento delle caratteristiche qualitative del cippato che va ad alimentare l'impianto con riflessi positivi, sia economici che funzionali, sull'intero sistema.

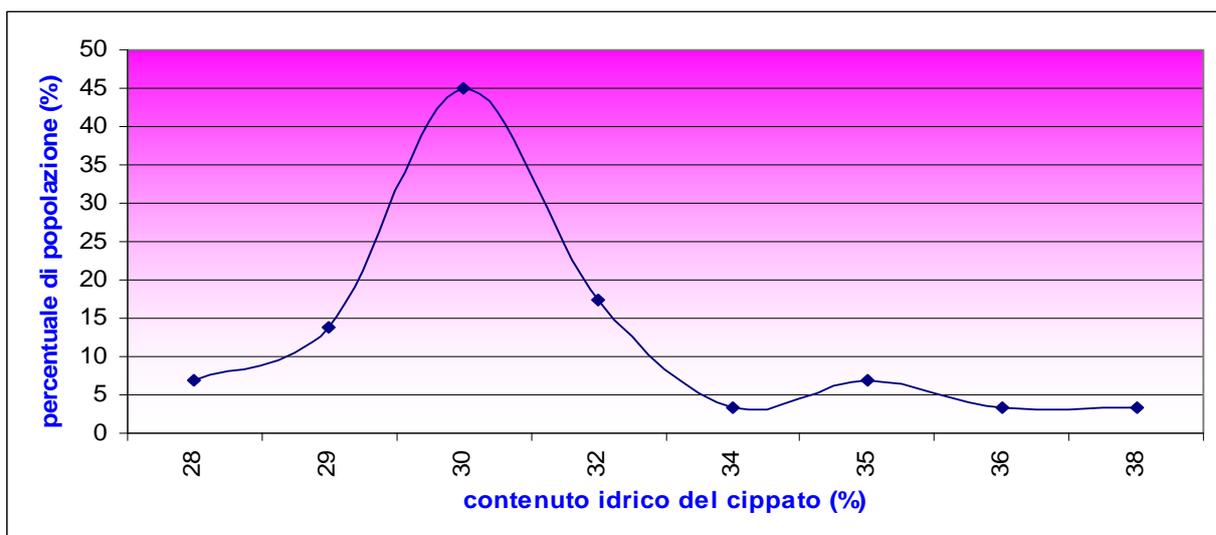


Figura B.1: Andamento del contenuto idrico dei campioni di cippato analizzati



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

w	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
u	11,1	17,6	25	33,3	42,9	53,8	66,7	81,8	100	122,2	150

u	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
w	9,1	13	16,7	20	23,1	25,9	28,6	31	33,3	35,5	37,5

Tabella B.1: Tabella di conversione umidità-contenuto idrico biomassa

**MASSA VOLUMICA E PESO**

La massa volumica ed il peso del cippato sono grandezze tipiche di ogni combustibile, che vanno monitorate per le motivazioni viste sopra essendo queste grandezze direttamente correlate al contenuto idrico.

N°	DATA	ORA	QUANTITA'		LOCALITA' Provenienza	CONTENUTO IDRICO %
			mc	Q		
1	15/10/2008	10.00	30	99	Garazzo	
2	28/10/2008	9.30	30	99	Garazzo	
3	10/11/2008	10.00	30	99	Garazzo	
4	13/11/2008	17.00	30	99	Maliarda	
5	20/11/2008	14.00	30	99	Maliarda	
6	29/11/2008	17.00	30	99	Maliarda	
7	04/12/2008	17.00	30	99	Garazzo	
8	06/12/2008	15.00	30	99	Garazzo	32
9	12/12/2008	13.30	30	99	Garazzo	35
10	14/12/2008	17.00	30	99	Garazzo	32
11	17/12/2008	17.00	30	99	Garazzo	32
12	19/12/2008	16.00	30	99	Garazzo	30
13	21/12/2008	16.30	30	99	Garazzo	30
14	27/12/2008	10.50	30	99	Garazzo	30
15	31/12/2008	11.30	30	99	Garazzo	28
16	02/01/2008	11.40	30	99	Garazzo	30
17	08/01/2008	16.30	30	99	Garazzo	32
18	09/01/2008	9.30	30	99	Garazzo	30
19	14/01/2008	11.00	30	99	Garazzo	29
20	18/01/2008	11.00	30	99	Garazzo	30
21	21/01/2008	11.00	30	99	Garazzo	
22	23/01/2008	10.00	30	99	Garazzo	30
23	28/01/2008	14.00	30	99	Garazzo	29
24	31/01/2008	12.35	30	99	Garazzo	36
25	11/02/2008	17.50	30	99	Garazzo	30
26	12/02/2008	16.00	30	99	Garazzo	29
27	16/02/2008	9.30	30	99	Garazzo	32
28	21/02/2008	9.40	30	99	Garazzo	
29	23/02/2008	15.50	30	99	Garazzo	30
30	26/02/2008	12.30	30	99	Garazzo	35
31	29/02/2008	15.30	30	99	Garazzo	34
32	03/03/2008	15.30	30	99	Garazzo	38
33	10/03/2008	9.00	30	99	Garazzo	28
34	11/03/2008	12.00	30	99	Garazzo	29
35	15/03/2008	11.30	30	99	Garazzo	30
36	18/03/2008	12.00	30	99	Garazzo	30
37	27/03/2008	15.00	30	99	Garazzo	30
38	01/04/2008	15.00	30	99	Garazzo	30

Tabella B.2: Carichi del silo a cippato di Campo Ligure



Nella Tabella B.2 sono riportati i dati relativi al peso ed al volume di ogni carica del silo di Campo Ligure, nonché la provenienza catastale del legno vergine e la data ed ora delle fasi di caricamento. Nell'ultima colonna è inoltre riportato il contenuto idrico misurato con "bilancia ad induzione" su almeno 3 campioni di ciascun carico.

I valori del contenuto idrico, come visto in precedenza ed evidenziato in Fig.B1, risultano ridotti di circa il 30% rispetto a quelli riscontrati nelle stagioni precedenti; **è comunque opportuno sottolineare che i valori riportati sono misurati all'ingresso del silos, mentre i valori a bocca di caldaia si ritengono peggiorati, in conseguenza delle infiltrazioni di acqua, in talune circostanze anche del 15-20%.**

Il silo di stoccaggio della centrale è stato caricato con una frequenza di due carichi alla settimana circa. Il volume medio di stoccaggio ha oscillato intorno al 55-90% del volume geometrico del silo.

Nella Tabella B.3 sono riportati i consumi medi mensili di cippato per la caldaia di Campo Ligure.

MESE	QUANTITA'		DENSITA'
	mc	q	(q/mc)
OTTOBRE (*)	35	120	3,43
NOVEMBRE(**)	120	395	3,29
DICEMBRE	265	860	3,25
GENNAIO	270	900	3,33
FEBBRAIO	210	695	3,31
MARZO	210	690	3,29
TOTALE	1110	3660	3,30

Tabella B.3: Consumi mensili impianto di Campo Ligure (2007-2008)

(*) Il mese di Ottobre non è completo perché il periodo di riscaldamento è iniziato il giorno 15, inoltre per motivi legati alla manutenzione straordinaria degli impianti, i giorni di funzionamento nel mese di ottobre sono stati soltanto 7.

(**) Per motivi analoghi, manutenzione straordinaria, al mese di Ottobre anche il mese di Novembre non risulta completo ma solo di 26 giorni.



POTERE CALORIFICO INFERIORE

Anche il potere calorifico risulta una grandezza dipendente dalle precedenti ed il cui valore è fondamentale per definire il processo in tutte le sue fasi, dalla progettazione alla distribuzione del prodotto finito. Dalla conoscenza di tale valore dipendono per esempio il dimensionamento di componenti quali la caldaia e l'eventuale recuperatore di calore, la portata di combustibile necessaria per fornire il quantitativo di energia richiesto e quindi il dimensionamento dei componenti per l'approvvigionamento della risorsa, la possibilità di attribuire un prezzo univoco a prescindere dal contenuto idrico. Ecco come proprio il contenuto idrico, anche in questo caso, risulta essere un parametro fondamentale nell'analisi globale dell'impianto.

Ovviamente non è stato possibile effettuare un controllo esaustivo di tutto il combustibile entrante nelle caldaie, per cui il potere calorifico è stato calcolato indirettamente a partire dai valori del contenuto idrico di 50 campioni di cippato per centrale.

Infatti, dai valori tabellari (Figura B.2) e dalle formule presenti in letteratura [B.5] è possibile risalire dal contenuto idrico (%) al contenuto energetico (kJ/kg o kWh/kg) una volta nota la tipologia e le caratteristiche chimico-fisico della biomassa in esame.

$$(P.C.I.)_w = \frac{18,5 * (100 - w) - 2,44 * w}{100} * 0,278 \quad (\text{kWh/kg}) \quad [\text{B.5}]$$

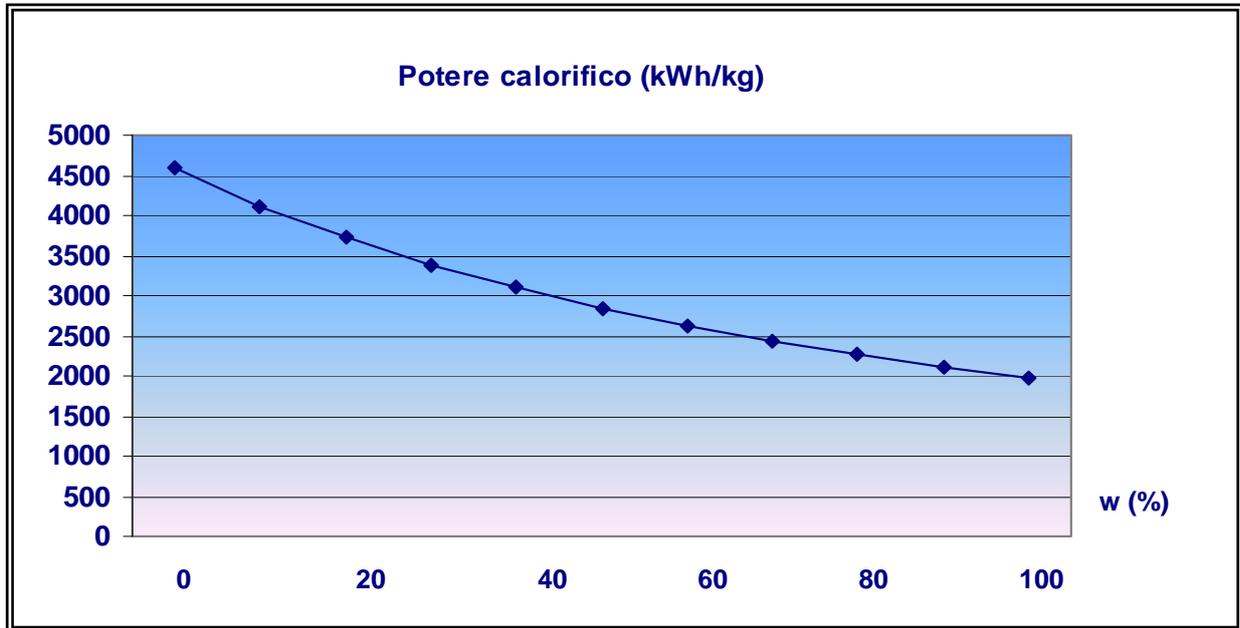


Figura B.2: Potere calorifico inferiore in funzione del contenuto idrico w (%)

Sulla base dei risultati di massa volumica dei carichi e del contenuto idrico del cippato è stato possibile calcolare un valore medio del potere calorifico inferiore della biomassa che ha alimentato la centrale nella stagione di riscaldamento 2007-2008. Tale valore, corrispondente ad un contenuto idrico medio pari al 31,15 %, vale:

$$(P.C.I.)_{2007-2008} = 11986,4 \text{ kJ/kg}$$



PROVENIENZA CIPPATO

Poter monitorare e quindi conoscere con precisione la provenienza della biomassa cippata può dare preziose informazioni sulla specie di legname dal quale è stata ricavata e quindi sulle sue qualità in termini di contenuto idrico ed energetico. A seconda che si tratti di cippato di faggio, abete, castagno, robinia ecc. varia la composizione in termini percentuali dei componenti costituenti (in particolare cellulosa e lignina) variando di conseguenza la massa volumica ed il contenuto energetico. Se inoltre si conoscono le caratteristiche climatiche della zona di provenienza della materia prima si possono avere già delle informazioni sul contenuto di umidità di tale risorsa.

In Valle Stura è stato istituito un Sistema Informativo per la filiera Bosco Energia (*SIBE*); *il SIBE* è un sistema informativo territoriale basato sulla tecnologia GIS (*Geographic Information System*) costituito da un sistema integrato di data base cartografici e non cartografici collegati in rete. Tale sistema di monitoraggio costituisce:

- Uno strumento conoscitivo del territorio e delle sue dinamiche naturali ed antropiche;
- Uno strumento di supporto alle politiche territoriali, forestali ed energetiche
- Uno strumento per il monitoraggio delle utilizzazioni forestali collegate al progetto biomasse e del loro impatto sul territorio

In questo modo tutto il combustibile alla bocca di impianto è “certificato” e di esso si conosce univocamente la tipologia di legname e la particella catastale di provenienza.

PEZZATURA DEL CIPPATO

L'aspetto più importante riguardante la pezzatura del cippato è rappresentato dal fatto che questo parametro è fondamentale per il corretto svolgimento del processo di combustione; un cippato di pezzatura troppo elevata (maggiore di qualche millimetro di spessore e di 15 centimetri di lunghezza) o comunque di natura disomogenea provoca una combustione non ottimale, con un decadimento delle prestazioni dell'impianto ed un conseguente maggior consumo di combustibile.



Da ogni campione di cippato analizzato ($N^{\circ} = 50$) è stato prelevato un'ulteriore campione di 1000 pezzi di cui si è misurato la composizione fisica (presenza di corteccia o meno), la lunghezza e la larghezza.

Tali misurazioni sono riportate nelle Figure B.3, B.4, B.5, B.6 e B.7.

- ✓ Figura B.3: Lunghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione (%); si evidenzia un picco di concentrazione corrispondente alla lunghezza di minore di 1 cm (24,98%);
- ✓ Figura B.4: Larghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione (%); si evidenzia un picco di concentrazione corrispondente alla larghezza di 1 cm (48,12%);
- ✓ Figura B.5: Percentuale di cippato con corteccia, senza corteccia o miste; si evidenzia la maggioranza di cippato senza corteccia (95%)
- ✓ Figura B.6: Esempio di misurazione di un campione

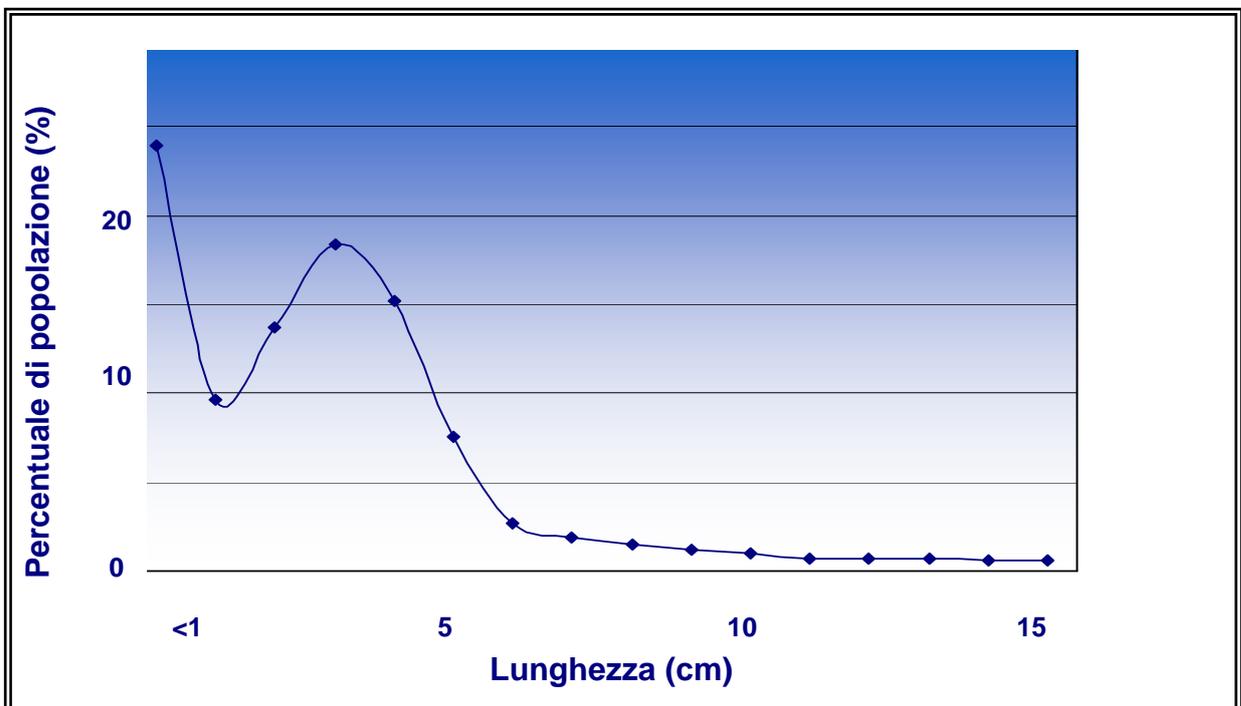


Figura B.3: Lunghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione

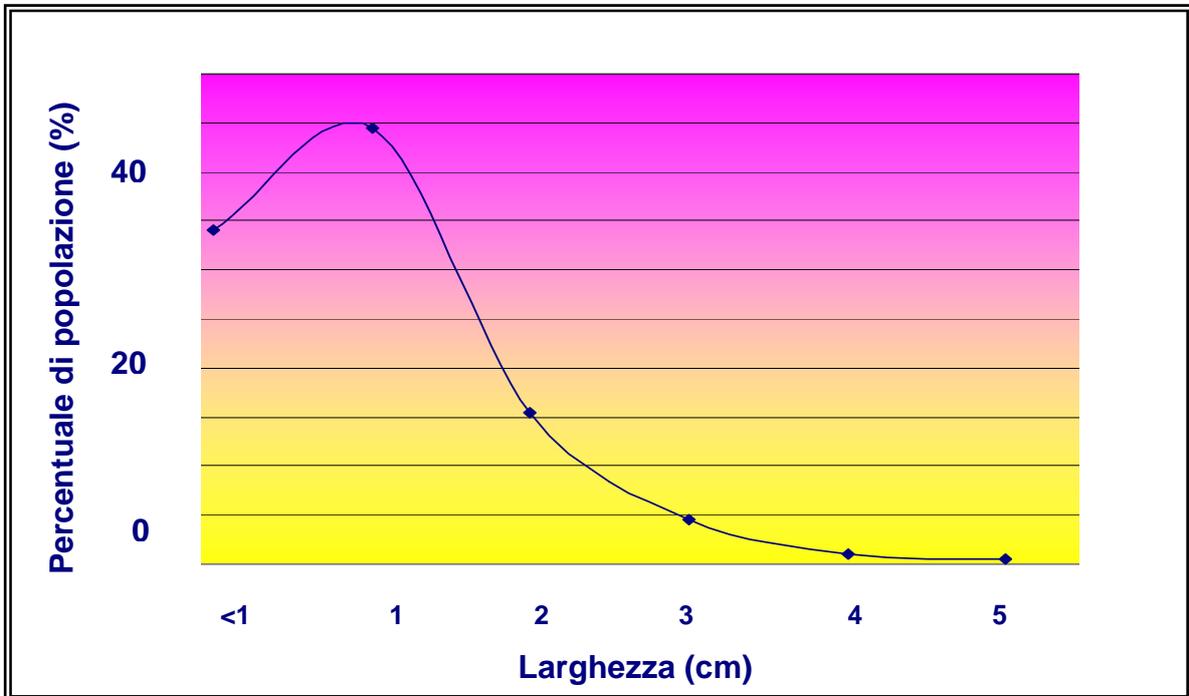


Figura B.4: Larghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione

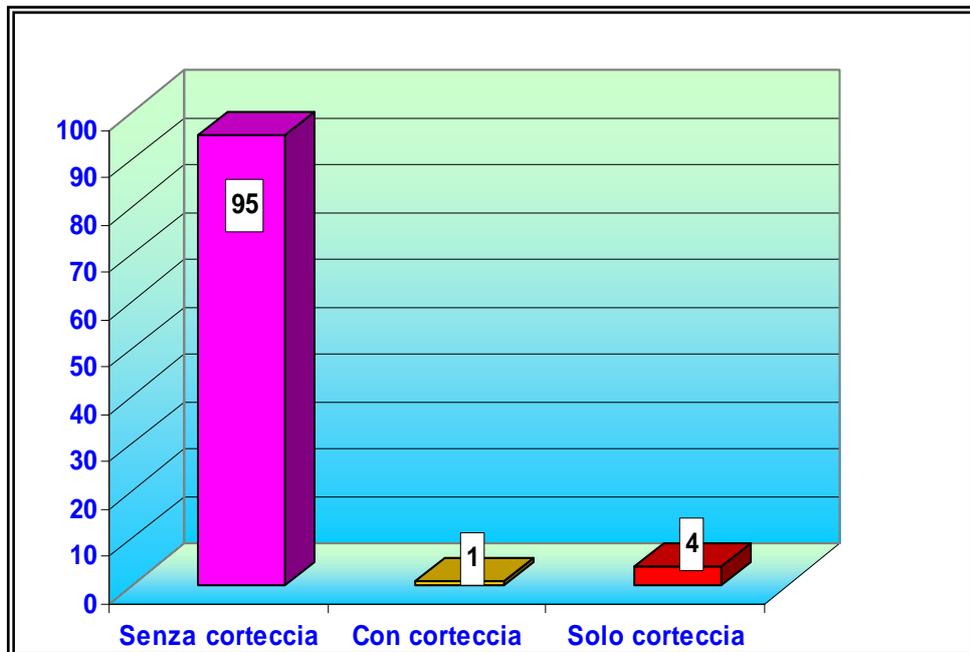


Figura B.5: Caratteristiche del cippato



		Lunghezza (cm)															
		<1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Larghezza (cm)	<1	173	38	42	18	27	5	5	4	2	1	1			1		
	1		117	123	147	53	13	4	3	1	2	1		1		1	
	2			55	88	32	10	3	2	3				1			1
	3				8	7	1	1							1		
	4				1	2	1										
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	11																
	12																
	13																
	14																
15																	

Figura B.6: Esempio di misurazione di un campione



C) FASE 2: MONITORAGGIO IMPIANTI.

La seguente fase è stata suddivisa in due campagne di monitoraggio accomunate dallo stesso obiettivo di ottimizzazione degli impianti:

Attività di monitoraggio energetico: Il monitoraggio dei consumi energetici è fondamentale perché strettamente collegato agli aspetti economici finanziari ed anche perché fornisce elementi di supporto decisionali per la gestione dell'impianto e della sua manutenzione. Le centrali della Valle Stura sono state dimensionate tenendo conto dei dati di targa delle caldaie esistenti alimentate a combustibili fossili e di stime previsionali in accordo con la normativa vigente; in realtà, come è emerso anche dal primo anno di attività di monitoraggio, i valori di potenza nominale di ogni impianto sono in grado di soddisfare i fabbisogni di più utenze di quelle per il quale sono stati dimensionati.

In questo senso si capisce l'importanza primaria del monitoraggio energetico, l'unico in grado di evidenziare in modo univoco il reale fabbisogno termico delle utenze collegate all'impianto e di stabilire alcune indicazioni come il fabbisogno medio, i picchi di richiesta, etc.

Inoltre, i risultati prodotti dall'attività di monitoraggio energetico e la reale ripartizione dei consumi termici permettono di fornire elementi conoscitivi ottimizzati per la costruzione di nuove centrali alimentate a biomassa forestale con costi del kWh più contenuti e, di conseguenza, periodi di ammortamento dell'investimento molto più brevi.

I principali punti del monitoraggio energetico e dello studio dei risultati ad esso inerenti sono stati:

- Calcolo del fabbisogno termico giornaliero, mensile ed annuale;
- Stesura del diagramma di carico dell'impianto
- Stima del fabbisogno termico di punta e del valore medio (utile per definire il dimensionamento ridondante necessario a coprire solo alcuni picchi per i quali può essere conveniente prevedere un sistema di integrazione);
- Rendimento globale dell'impianto nei diversi periodi di funzionamento;



Attività di monitoraggio funzionale-impiantistico: Questa fase consiste nel monitorare il funzionamento dell'impianto ed in particolare la sua efficienza ed i suoi tempi di manutenzione. Lo svolgimento di questa parte di lavoro consente di fornire risultati fondamentali per la definizione della migliore tecnologia utilizzabile per lo sfruttamento delle biomasse e per ottimizzare il funzionamento degli impianti al fine di ridurre i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre che di spesa iniziale.

Gli aspetti che verranno monitorati, con modalità e metodologie stabiliti in modo opportuno durante la fase 0, sono:

- Tempo di funzionamento della caldaia;
- Rendimento di combustione;
- Rendimento globale e leggi di variazione del rendimento al variare della potenza;
- Rendimento di distribuzione;
- Fattore di intermittenza dell'impianto;
- Tempo di funzionamento dei dispositivi di carico del cippato;
- Riempimento medio del silo nell'arco della settimana (ottimizzazione del suo riempimento e dei trasporti del cippato) e calcolo del numero di giorni intercorrenti fra due rifornimenti;
- Quantitativo di ceneri prodotte;
- Tempi di manutenzione ordinaria e straordinaria;

L'intervallo delle osservazioni di misura è molto variabile a seconda degli aspetti da monitorare; ad esempio, il quantitativo delle ceneri prodotte richiede un'osservazione settimanale o anche bisettimanale, mentre le temperature e le pressioni di esercizio devono essere monitorate più volte durante il giorno (durante il processo di combustione).

Ovviamente, pur essendo state analizzate separatamente nella Fase 1, rientrano nella Fase 2 anche le caratteristiche qualitative e quantitative del biocombustibile (umidità, peso, potere calorifico, etc.).

**D) FASE 3: ANALISI DEI CONSUMI E DELLE RICHIESTE TERMICHE****CONSUMI UTENZE**

Come già sottolineato nell'introduzione la caldaia di Campo Ligure ha una potenza nominale di targa di circa 700 kW termici e serve complessivamente 3 utenze (5 sottostazioni).

Nella Tabella D.1 sono riportate le utenze collegate alla rete di teleriscaldamento e le potenze nominali di targa della caldaia utilizzata prima dell'avvio dell'impianto a biomassa; laddove le utenze non avevano una caldaia pre-esistente è riportata una stima di fabbisogno termico calcolata sulla base delle volumetrie da riscaldare in accordo con la Legge 10/91.

CAMPO LIGURE		
N°	Utenza	kWth
1	Palazzetto dello Sport	250
2	Scuola Rosselli	250
3	Municipio	150
4	C.R.I.	50
	TOTALE	700

Tabella D.1: Utenze impianto di Campo Ligure (kWth caldaie pre-esistenti)

Su ogni sottostazione sono stati installati dei contatori di calore per la misurazione dei MWh consumati (Multical® 401 Kamstrup). In particolare, ogni strumentazione è dotata di sensori di temperatura in grado di misurare la temperatura di entrata (T_{in}) e di uscita (T_{out}) dell'acqua della rete e calcolarne il salto termico ($\Delta T = T_{in} - T_{out}$) e di un misuratore di flusso che calcola la portata di fluido circolante (q).

Il sistema integra i valori misurati nell'intervallo di tempo e determina la quantità di calore ceduto ad ogni sottostazione [D.1]

$$Q = q * c_p * \Delta T \quad (\text{kWhth}) \quad [\text{D.1}]$$



Il sistema Multical è dotata di una memoria interna che memorizza il picco di produzione del calore, la quantità di acqua circolante ed il numero di ore di funzionamento dal momento dell'installazione. Qualora si verificano dei malfunzionamenti visualizza un segnale di errore mediante un codice numerico (Tabella D.2)

Info-code	Descrizione errore	Tempo di risposta
000	Nessuna irregolarità	
002	Errore del sensore misuratore di portata	48 ore
004	Errore del sensore di misura della temperatura di ingresso dell'acqua	1-10 min
008	Errore del sensore di misura della temperatura di uscita dell'acqua	1-10 min
016	Aria nel misuratore di portata	
128	Batteria da cambiare	12 anni

Tabella D.2: Segnali di errore del contatore di calore Multical® 401 Kamstrup

Data l'esiguità del budget a disposizione non è stato possibile strumentare gli impianti con un sistema di misurazione continuo in grado di registrare i parametri fondamentali di funzionamento.

Per questo motivo il monitoraggio è stato condotto mediante un numero sufficiente di misurazioni condotte direttamente dall'Ing. Fausto Crosetti.

In particolare, le misurazioni sono state condotte due ore al giorno per due giorni alla settimana; in più sono state fatte nel corso della stagione di riscaldamento tre giornate di misurazioni continuative per verificare gli andamenti delle curve di carico delle utenze in giorni tipo della settimana (lunedì, mercoledì e sabato).

Nella tabella D.3 sono riportati i valori mensili del fabbisogno termico dell'impianto di Campo Ligure.



MESE	PAL.SPORT 1	PAL.SPORT 2	PAL.SPORT 3	SCUOLA MEDIA	MUNICIPIO(*)	TOTALE
OTTOBRE	1,5	1,3	0,8	9,0	5,7	18,3
NOVEMBRE	8,5	1,6	2,2	25,5	16,1	53,8
DICEMBRE	18,3	6,0	4,4	51,0	32,1	111,8
GENNAIO	16,8	9,8	5,0	63,4	39,8	134,8
FEBBRAIO	7,4	7,7	1,1	43,7	27,5	87,3
MARZO	7,7	0,2	0,6	46,2	29,0	83,6
TOTALE COMPLESSIVO	60,1	26,6	14,0	238,8	150,0	489,4

Tabella D.3: Fabbisogno termico mensile utenze Campo Ligure (MWh termici)

(*) I valori relativi al Municipio sono stati stimati in quanto si sono verificati problemi al contatore di calore. I valori inseriti sono stati individuati sulla base dei consumi delle altre stagioni termiche, sia del Municipio che delle altre utenze, raffrontati a quelli della stagione termica in esame; si ritengono pertanto verosimili rispetto al reale andamento dei consumi.

Nella Figura D.1 sono riportati gli andamenti del fabbisogno termico mensile (curva blu) e cumulativo (curva rosa) dell'impianto di Campo Ligure.

A questo punto della trattazione è molto interessante calcolare un parametro importante che è il consumo specifico di cippato per ogni MWh termico prodotto, calcolabile come rapporto tra il cippato utilizzato ed il fabbisogno termico in un determinato periodo [D.2].

$$m_{sc} = \frac{M}{Q} \quad (\text{kg/kWh}_{\text{th}}) \quad [\text{D.2}]$$

Nella Tabella D.4 sono riportati i valori dei consumi specifici mensili e totali dell'impianto.

Come si evince dalle tabelle la performance migliore si è avuta nel mese di Gennaio quando le temperature inferiori, con le conseguenti maggiori richieste delle utenze, hanno permesso alla caldaia di funzionare in condizioni più vicine alla potenza nominale di targa.



Buoni risultati si sono avuti anche nel periodo Ottobre-Dicembre pur con un certo legame alle richieste termiche, influenzate sia dalla temperatura, specie nei primi due mesi, sia per il periodo di chiusura dell'Istituto Rosselli nel mese di Dicembre.

Un peggioramento abbastanza marcato si è invece evidenziato nei mesi di Febbraio e Marzo; questo si ritiene legato alla minor richiesta termica da parte delle utenze ed in particolare delle sottostazioni 2 e 3 del Palazzetto dello Sport e dell'Istituto Rosselli, per il quale ha influito anche la chiusura per la Pasqua. Questo ha determinato un funzionamento dell'impianto in condizioni che si discostano maggiormente da quelle di regime con ripercussioni negative sulle prestazioni.

Un ulteriore fattore che ha contribuito al peggioramento nei mesi considerati è legato alla qualità del cippato alla bocca di caldaia; infatti se il contenuto idrico e quindi il potere calorifico del materiale introdotti nel silos si sono mantenuti pressoché costanti, lo stesso non si può dire di quello che arriva in caldaia che per il periodo interessato risulta decisamente peggiorato in conseguenza della forte umidità (dovuta a neve e pioggia) riscontrata all'interno del silos. Si può indicativamente ritenere verosimile un incremento fino al 10 % del contenuto idrico (pur non avendo misurazioni precise).

MESE	QUANTITA' [q]	ENERGIA [MWh]	CONSUMO SPECIFICO [kg/kWh]
OTTOBRE	120	18,3	0,66
NOVEMBRE	395	53,8	0,73
DICEMBRE	860	111,8	0,77
GENNAIO	900	134,8	0,67
FEBBRAIO	695	87,3	0,80
MARZO	690	83,6	0,83
TOTALE	3660	489,4	0,75

Tabella D.4: Consumi specifici di cippato impianto di Campo Ligure

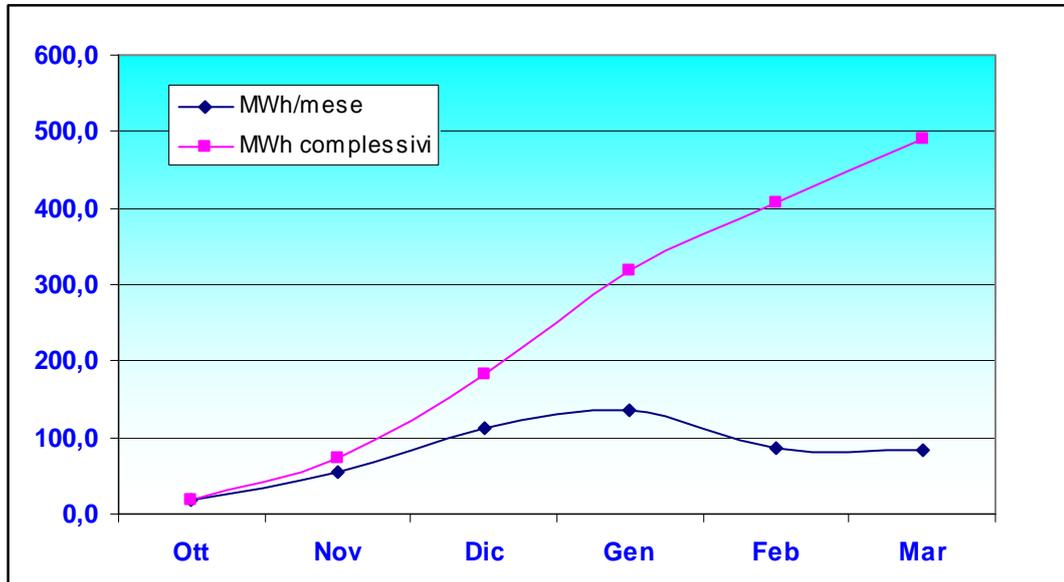


Figura D.1: Fabbisogno termico mensile e cumulativo impianto di Campo Ligure



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

E) FASE 4: ANALISI DEI PARAMETRI FUNZIONALI-IMPIANTISTICI.

FUNZIONAMENTO CALDAIE

Il funzionamento della caldaia ha evidenziato problemi in fase di regime che hanno determinato frequenti blocchi, alcuni corti (1-2 ore) altri più lunghi (3-4 ore).

Le cause più frequenti delle interruzioni sono state i malfunzionamenti delle cellule delle coclee che si bloccavano a causa di alcuni elementi di cippato di dimensione troppo grossa. Poi si sono verificate altre interruzioni dovute al malfunzionamento di alcuni componenti come la coclea di estrazione delle ceneri, le rastrelliere dei silos, mancanza di elettricità, etc.

La durata del blocco è legata al funzionamento del sistema di teleallarme e telecontrollo entrato parzialmente in funzione a partire dalla stagione termica in esame. Tale sistema, attraverso sonde che rilevano parametri di funzionamento caratteristici, quando vengono superate le soglie di allarme prestabilite invia un segnale all'addetto di caldaia in modo da permettere un rapido intervento con conseguente riduzione degli effetti del blocco sulle prestazioni dell'impianto. Infatti, per legge non è necessario un conduttore di caldaia come accade per i generatori di vapore, per cui il controllo da parte dell'operatore viene fatto sporadicamente nel corso della giornata e quando si verificano dei malfunzionamenti sugli impianti. Il sistema di teleallarme di cui disponeva la caldaia consentiva l'invio del segnale di errore in modo tempestivo e quindi il relativo ripristino della situazione in tempi relativamente brevi solo in alcuni casi (minima depressione, fine corsa di sicurezza, etc.) mentre in altri casi (temperatura minima camino a causa del blocco della cellula della coclea che dal silo arriva al locale caldaia) il segnale di errore veniva mandato solo quando la temperatura in camera di combustione scendeva al di sotto di un determinato valore, quindi all'arrivo dell'operatore la temperatura dell'acqua di mandata era già intorno ai 40-50°. In questo caso ne conseguiva un tempo di stop di 3-4 ore circa necessario per riportare la temperatura dell'anello liquido ai valori di regime (80-85° C). Il sistema di teleallarme in dotazione a partire dall'ultima parte della stagione termica 2007-2008 (seppur ancora con funzionamento parziale e in fase di taratura) ha consentito interventi rapidi anche in



questi ultimi casi. Si ritiene pertanto che con l'esperienza di calibrazione dei parametri fatta nel mese di Marzo della presente stagione, sia possibile ridurre notevolmente l'incidenza dei blocchi lunghi.

Nella Tabella E.1 sono riportati i blocchi della caldaia di Campo Ligure, divisi tra blocchi di lunga e corta durata.

MESE	N° BLOCCHI LUNGI	N° BLOCCHI CORTI	ORE DI STOP (circa)
OTTOBRE	0	1	1,0
NOVEMBRE	3	3	15,0
DICEMBRE	8	4	30,5
GENNAIO	6	4	27,5
FEBBRAIO	2	3	12,0
MARZO	1	2	6,0
TOTALE	20	17	92

Tabella E.1: Numero blocchi impianto di Campo Ligure

Ovviamente, il numero dei blocchi influisce sul rendimento complessivo dell'impianto e sul consumo di biomassa.

Da un punto di vista teorico il rendimento η di ogni impianto è dato dal prodotto del rendimento complessivo di caldaia η_c e dal rendimento della rete η_{rete} [E.1].

$$\eta = \eta_c * \eta_{rete} \quad [E.1]$$

Il rendimento complessivo della caldaia vale 0,85 in condizioni di funzionamento prossime ai valori massimi di potenza nominale. Tale valore scende al variare delle condizioni di carico, secondo una cosiddetta "curva di carico" che però non è stata fornita dal fornitore Uniconfort.



Il rendimento della rete si calcola considerando il salto termico tra la mandata dell'acqua all'uscita della centrale ed il ritorno quando tutte le utenze servite sono spente [E.2]. Tale valore è stato misurato sperimentalmente ed è di circa 4-5°C

$$\eta = 1 - \frac{(T_{mandata} - T_{ritorno})}{T_{mandata}} = 1 - \frac{80 - 76}{80} = 1 - 0,05 = 0,95 \quad [E.2]$$

Sostituendo nella [E.1] si ottiene il rendimento globale teorico dell'impianto pari a 0,807. Il rendimento effettivo degli impianti si può calcolare secondo la [E.3], che esprime il rapporto tra la potenza termica prodotta e la potenza termica introdotta come input mediante la biomassa entrante in camera di combustione.

$$\eta = \frac{Q * 3600}{M_c * H_i} \quad [E.3]$$

Q = Energia termica prodotta (kWh)

Mc = Cippato consumato (kg)

Hi = potere calorifico inferiore del cippato

Nella Tabella E.2 vengono riportati i rendimenti complessivi dell'impianto nei diversi mesi dell'anno; per il potere calorifico inferiore è stato sempre considerato un valore medio pari a 11986,4 kJ/kg.

MESE	QUANTITA' [q]	ENERGIA [MWh]	CONSUMO SPECIFICO [kg/kWh]	RENDIMENTO GLOBALE
OTTOBRE	120	18,3	0,66	0,46
NOVEMBRE	395	53,8	0,73	0,41
DICEMBRE	860	111,8	0,77	0,39
GENNAIO	900	134,8	0,67	0,44
FEBBRAIO	695	87,3	0,80	0,38
MARZO	690	83,6	0,83	0,36
TOTALE	3660	489,4	0,75	0,40

Tabella E.2: Rendimenti complessivi impianto di Campo Ligure

I risultati riportati nelle Tabelle precedenti sono visualizzati in forma grafica nelle seguenti figure:

- Figura E.1: Consumo specifico di cippato dell'impianto di Campo Ligure (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa);



- Figura E.2: Rendimento globale dell'impianto di Campo Ligure (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa);

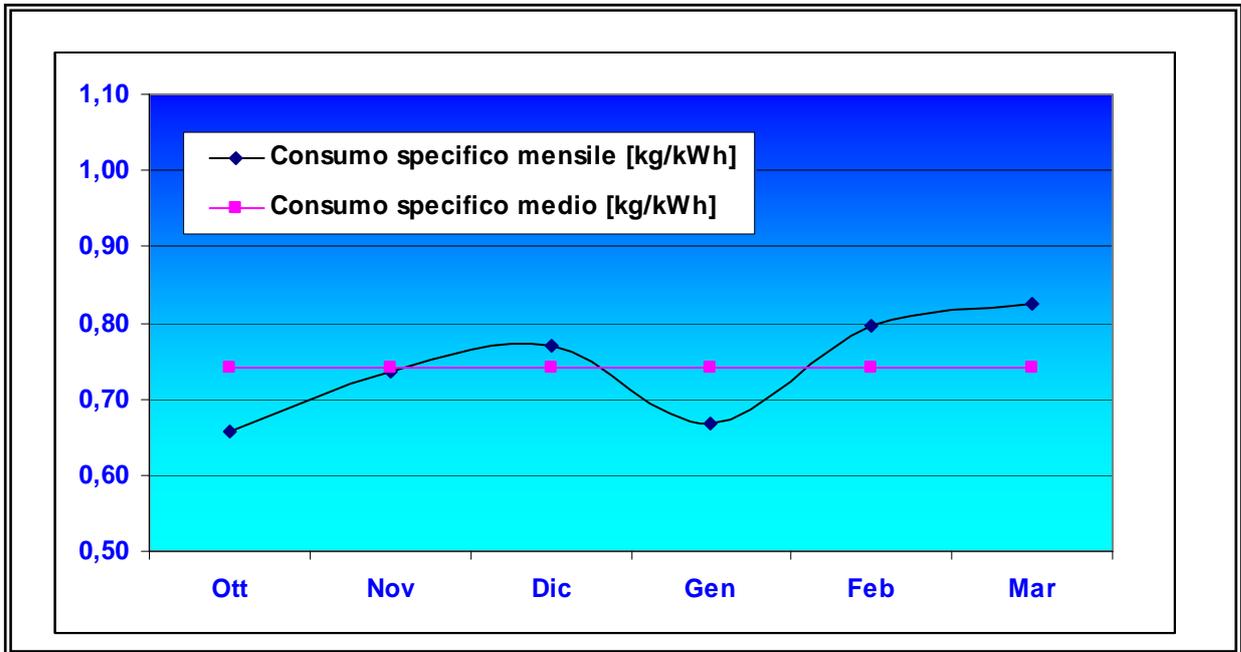


Figura E.1: Consumo specifico mensile e medio di cippato a Campo Ligure

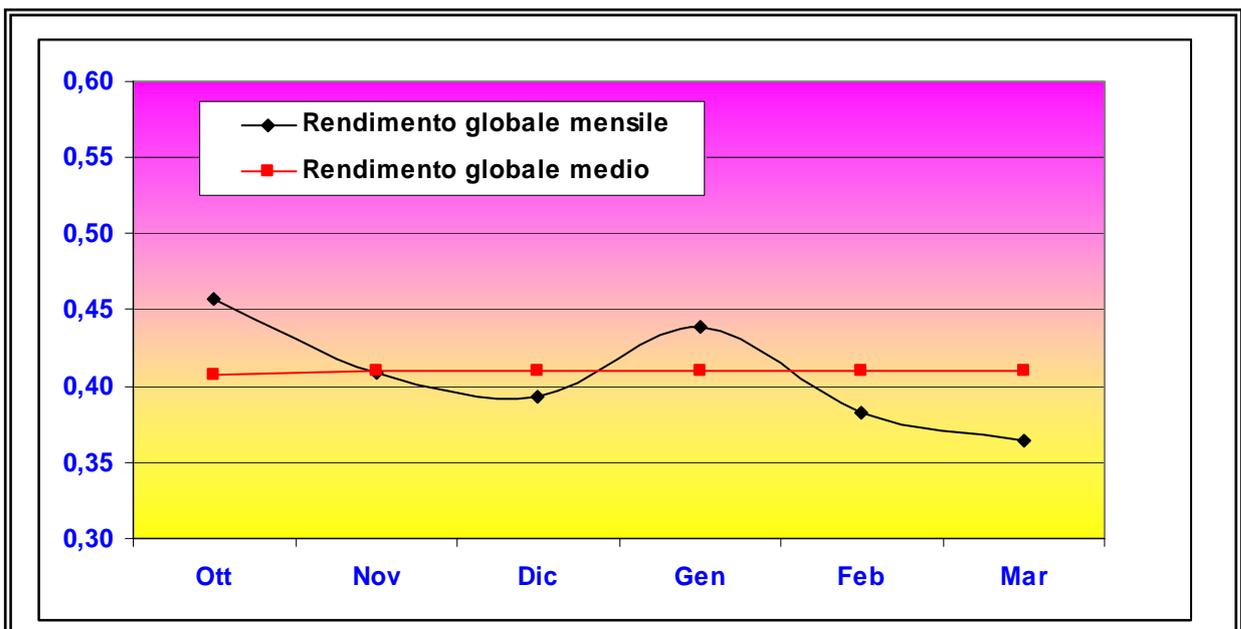


Figura E.2: Rendimento globale mensile e medio di Campo Ligure



Il rendimento medio dell'impianto è comunque molto inferiore rispetto a quello teorico a causa del funzionamento della caldaia lontano dalla potenza nominale di targa in punti in cui il rendimento di caldaia si abbassa notevolmente.

Si può calcolare il funzionamento dell'impianto rispetto alle condizioni di pieno carico in termini di energia termica prodotta. Il comune di Campo Ligure appartiene alla Fascia E di riscaldamento (183 giorni all'anno per 14 ore giornaliere) per cui l'energia termica producibile si calcola mediante la [E.4], dove il numero di giorni è 155 nel nostro periodo di osservazione (15 Ottobre 2007 – 31 Marzo 2008)

$$E = Nd * Nh * P \quad [E.4]$$

E = Energia termica prodotta

P = potenza nominale di targa della caldaia.

Nd = numero di giorni di riscaldamento

Nh = numero di ore giornaliere di riscaldamento

Quindi:

$$(E)_{\text{Campo Ligure}} = 1.479.800 \text{ kWh} = 1.479,8 \text{ MWh}$$

Mettendo a rapporto il quantitativo di energia termica prodotto con il valore teorico si ottiene il funzionamento dell'impianto rispetto alle condizioni di pieno carico. In particolare, nella Tabella E.3 sono riportati i valori di tali rapporti per l'impianto di Campo Ligure, mentre nella Figura E.3 i risultati sono riportati in forma grafica



MESE	ENERGIA [MWh]	NUMERO DI ORE [h]	ENERGIA TEORICA [MWh]	FUNZIONAMENTO vs PIENO CARICO
OTTOBRE	18,3	98	68,6	0,27
NOVEMBRE	53,8	364	254,8	0,21
DICEMBRE	111,8	434	303,8	0,37
GENNAIO	134,8	434	303,8	0,44
FEBBRAIO	87,3	406	284,2	0,31
MARZO	83,6	434	303,8	0,28
TOTALE	489,4	2170	1519	0,32

Tabella E.3

Funzionamento impianto di Campo Ligure rispetto alla condizione di pieno carico

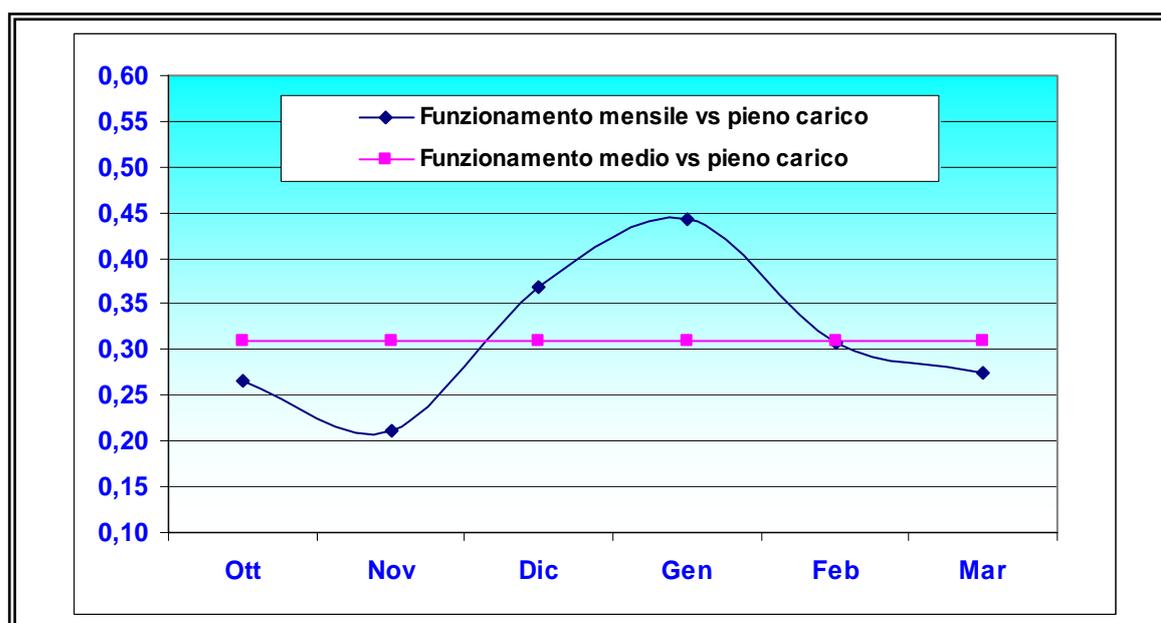


Figura E.3: Funzionamento mensile e medio dell'impianto di Campo Ligure rispetto alla condizione di pieno carico

La Fig. E.3 mostra, come prevedibile, che i valori massimi del funzionamento rispetto alla condizione di pieno carico si hanno nei mesi più freddi, Dicembre, Gennaio. Febbraio invece, pur essendo ancora un mese "freddo", presenta valori inferiori, dovuti come visto in precedenza, allo scarso contributo fornito dalle sottostazioni 2 e 3 del Palazzotto dello Sport e, in misura minore dell'Istituto Rosselli. Tali fattori si sono



ripercossi anche sul valore di Marzo, ancora più marcato per le temperature più elevate e per la presenza del periodo vacanziero di Pasqua.

Tuttavia anche quest'ultima stagione termica ha evidenziato il sottoutilizzo dell'impianto che, come mostrato in figura, anche nei periodi di picco risulta sfruttato soltanto per circa il 40-45% della sua potenza.

Un altro fattore che influenza notevolmente il rendimento sono i numerosi blocchi di impianto, per cui ha senso calcolare il rendimento degli impianti in condizioni di funzionamento a regime, cioè in assenza di blocchi.

Per semplicità di calcolo si considera che la durata dei blocchi corti e lunghi sia rispettivamente 2 e 4 ore. Si è verificato che dopo un blocco corto la temperatura dell'acqua di mandata dalla caldaia diminuisce di circa 15° C, mentre dopo un blocco lungo la diminuzione di temperatura è di circa 40° C.

Il valore di portata di acqua circolante nell'anello liquido è ricavabile dalle targhe delle pompe di circolazione:

- Campo Ligure: 62 m³/h;

Risulta importante ai fini dell'analisi rilevare che le pompe non sono dotate di inverter, questo rende impossibile la modulazione della portata quindi, dopo ciascun blocco, deve essere riportata in temperatura l'intera portata della rete con un evidente maggior dispendio di energia.

Note queste grandezze è possibile calcolare la quantità di cippato consumato per riportare le caldaie a regime dopo ogni blocco mediante la [E.5].

$$mc = \frac{\dot{m} * (1000 / 3600) * c_{p_{acqua}} * \Delta T}{Hi} \quad [E.5]$$

mc = consumo specifico di cippato (kg/s)

\dot{m} = portata di acqua circolante (l/s)

$c_{p_{acqua}}$ = calore specifico dell'acqua a pressione costante [kJ/(kg*K)]

ΔT = salto termico per riportare l'acqua alla temperatura di regime

Hi = potere calorifico inferiore cippato (kJ/kg)



Per il calore specifico dell'acqua è stato scelto un valore medio pari a 4,182 kJ/(kg*K) corrispondente alla temperatura di 60° C ed alla pressione atmosferica.

Sostituendo i valori nella E.5 si ottiene:

COMUNE	BLOCCO LUNGO		BLOCCO CORTO	
	mc (kg/s)	Mc (kg)	mc (kg/s)	Mc (kg)
Campo Ligure	0,24	3456	0,09	648

Tabella E.4: Consumi di cippato durante i blocchi

Nella tabella E.5 sono riportati i consumi di cippato per riportare a regime la caldaia, mentre nella Figura E.4 sono riportati i consumi di cippato dovuti ai blocchi.

La Figura E.5 riporta l'andamento del numero di blocchi lunghi e corti per gli impianti di Campo Ligure.

L'impianto di Campo Ligure produce 3,15 MWh di energia termica al giorno; per semplicità di calcolo si ipotizza che durante i blocchi la produzione di calore sia mediamente dimezzata.

MESE	N° BLOCCHI LUNGI	N° BLOCCHI CORTI	CONSUMO DI CIPPATO (kg)
OTTOBRE	0	1	648
NOVEMBRE	3	3	12312
DICEMBRE	8	4	30240
GENNAIO	6	4	23328
FEBBRAIO	2	3	8856
MARZO	1	2	4752
TOTALE	20	17	80136

Tabella E.5: Consumi complessivi di cippato durante i blocchi a Campo Ligure



A questo punto è possibile riutilizzare la [E.3] che si viene così a modificare

$$\eta = \frac{Q^l * 3600}{M^l_c * H_i}$$

Q^l = Energia termica prodotta a regime (ottenuta togliendo da quella totale quella prodotta durante i blocchi)

M^l_c = Quantità di cippato utilizzata a regime (ottenuta togliendo da quella totale quella consumata durante i blocchi).

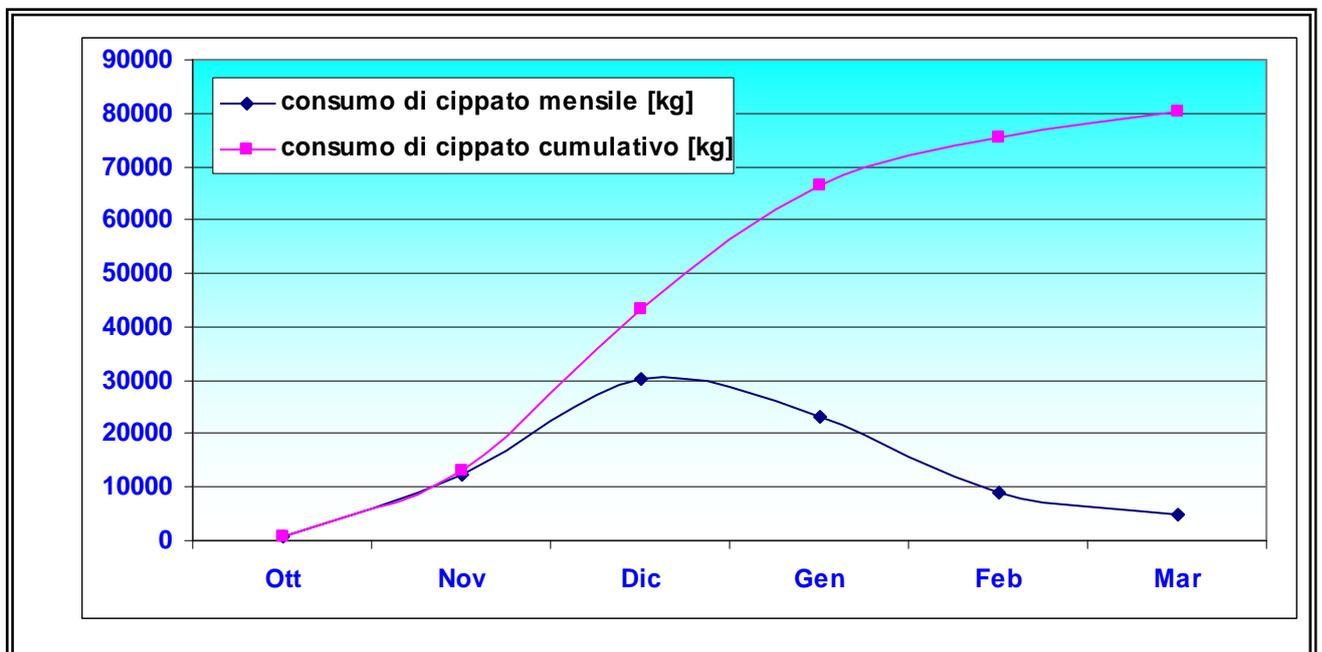


Figura E.4: Consumi mensili e cumulativi complessivi di cippato durante i blocchi a Campo Ligure

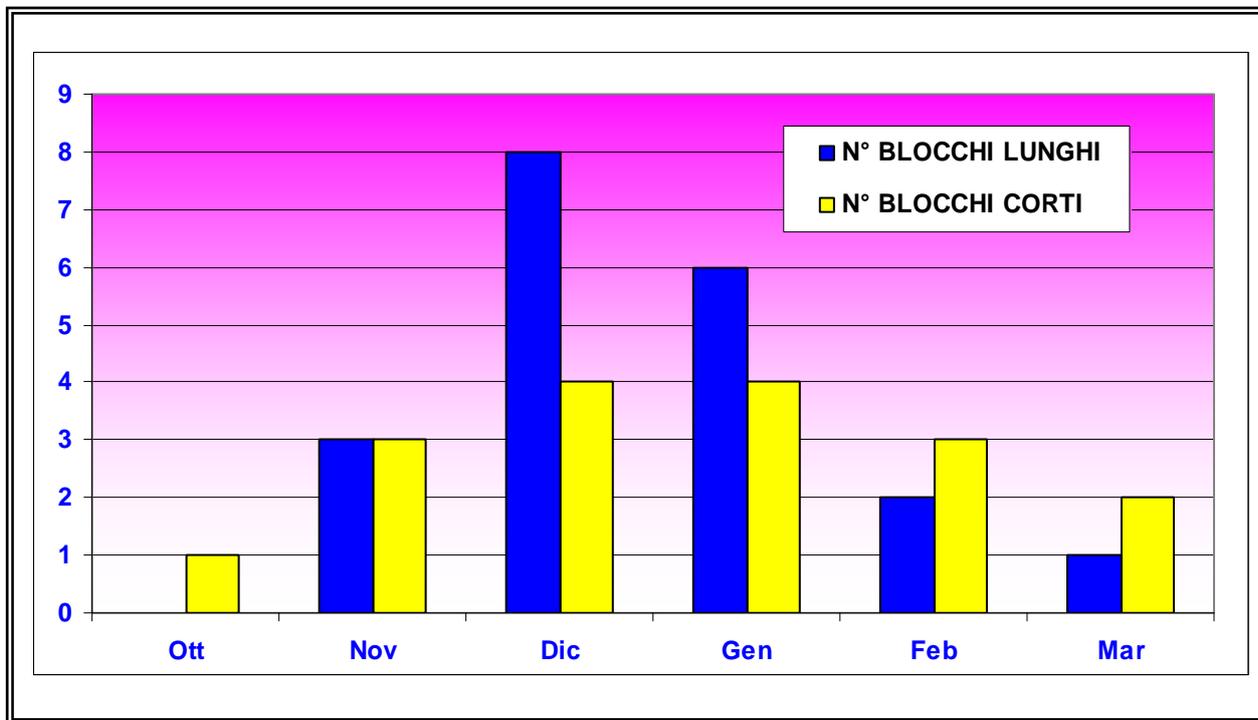


Figura E.5: Blocchi impianto di Campo Ligure

Confrontando le Fig. E.4 ed E.5 si percepisce facilmente la forte influenza sui consumi di cippato dei blocchi lunghi rispetto a quelli corti, infatti il mese con maggior consumo è Gennaio (dove abbiamo il maggior numero di blocchi lunghi). Si nota inoltre una notevole riduzione dei blocchi nei mesi di Febbraio e Marzo quando sono stati praticamente annullati. Questo è dovuto principalmente a 2 fattori: da un lato ad alcune modifiche effettuate sulle fotocellule della coclea di alimentazione e sul fine corsa, dall'altro all'entrata in funzione del nuovo sistema di telegestione e telecontrollo che, seppure ancora in fase di taratura, ha contribuito a ridurre in maniera sostanziale i blocchi lunghi. Questa è un'ottima premessa in vista della stagione termica 2008-2009.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

Nella Tabella E.6 sono riportati i rendimenti a regime per i diversi mesi di riscaldamento; come si può evidenziare il rendimento globale dell'impianto a regime sale ad un valore medio complessivo di 0,50.

MESE	N° BLOCCHI LUNGHİ	N° BLOCCHI CORTI	ORE DI TRANSITORIO	CONSUMI DI CIPPATO (kg)	CONSUMO DI CIPPATO NEI BLOCCHI (kg)	CONSUMO DI CIPPATO A REGIME (kg)	ENERGIA PRODOTTA (MWh)	ENERGIA PRODOTTA NEI BLOCCHI	ENERGIA PRODOTTA A REGIME	RENDIMENTO GLOBALE A REGIME
OTTOBRE	0	1	1,0	12000	648	11352	18,30	0,11	18,19	0,48
NOVEMBRE	3	3	15,0	39500	12312	27188	53,80	1,70	52,11	0,58
DICEMBRE	8	4	30,5	86000	30240	55760	111,80	3,45	108,35	0,58
GENNAIO	6	4	27,5	90000	23328	66672	134,80	3,11	131,69	0,59
FEBBRAIO	2	3	12,0	69500	8856	60644	87,30	1,36	85,94	0,43
MARZO	1	2	6,0	69000	4752	64248	83,60	0,68	82,92	0,39
TOTALE	20	17	92	366000	80136	285864	489,40	10,40	479,00	0,50

Tabella E.6: Rendimenti globali impianto di Campo Ligure in funzionamento a regime



Analogamente a quanto è stato fatto in precedenza si rappresenta graficamente l'andamento del rendimento globale mensile per l'impianto di Campo Ligure in condizioni di regime. In particolare, la figura E.6 rappresenta il rendimento globale dell'impianto (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa) in condizioni di regime;

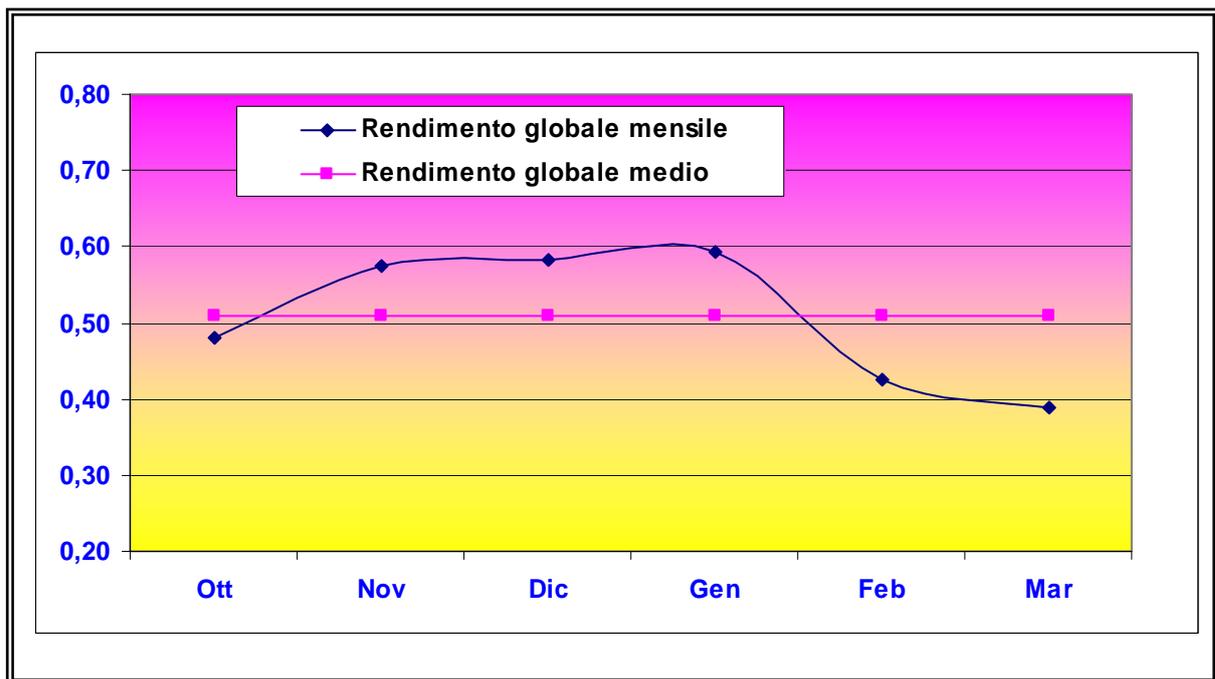


Figura E.6: Rendimento globale mensile e medio impianto di Campo Ligure in funzionamento a regime

A questo punto della trattazione è utile valutare in modo approssimativo quale sia l'incidenza dei blocchi di lunga e corta durata sul rendimento complessivo dell'impianto, riferendoci ai quantitativi massicci di biomassa "sprecata"; una trattazione più accurata e parametrizzata del problema sarà affrontata nel paragrafo dedicato all'analisi delle perdite.

Come mostra il grafico in figura E.6 i valori minimi di rendimento anche nel funzionamento a regime si sono avuti nei mesi di Febbraio e Marzo, cioè, come visto in precedenza, in concomitanza con una riduzione delle richieste delle utenze. A questo va aggiunto il peggioramento della qualità del cippato in termini di contenuto idrico alla bocca della caldaia. È importante differenziare il contenuto idrico del cippato che arriva



in caldaia rispetto a quello introdotto nei silos; qui infatti a causa delle infiltrazioni, dovute principalmente al sistema di chiusura, e maggiormente incidenti in concomitanza con piogge e nevicate, peggiora notevolmente la sua qualità e quindi anche il suo potere calorifico con conseguenze evidenti sui rendimenti del sistema. Il problema dell'umidità nei silos, oltre che alle infiltrazioni, è dovuto anche all'evaporazione dell'acqua contenuta nel cippato conseguente alle alte temperatura generate dai processi di fermentazione che si innescano; al fine di ridurre tale incidenza nel mese di Febbraio è stato installato un ventilatore che consente un ricambio d'aria forzato del silos.

Il dato migliore relativo ai rendimenti si è riscontrato nel mese di Gennaio, quando la richiesta termica è stata maggiore, ad ulteriore testimonianza che le performances dell'impianto, sono tanto migliori quanto più vicino si lavora alla condizione di pieno carico. È inoltre opportuno sottolineare anche la migliore qualità del cippato nel mese di Gennaio, sui livelli di quelli a bocca del silos in quanto le precipitazioni limitate del periodo hanno influito poco sul suo contenuto idrico.

La tabella E.7 riporta i quantitativi massici di biomassa consumati durante i blocchi per riportare la caldaia a regime.

COMUNE	BLOCCO LUNGO					BLOCCO CORTO				
	mc (kg/s)	Mc (kg)	N°	(Mc)Tot (kg)	(%)	mc (kg/s)	Mc (kg)	N°	(Mc)Tot (kg)	(%)
Campo Ligure	0,24	3456	20	69120	18,89	0,09	648	17	11016	3,01
Media	0,408	5875,2	20	117504	32,10	0,15	1105,2	17	18788,4	5,13

Tabella E.7: Incidenza dei blocchi sul rendimento

Si evidenzia in modo molto chiaro come la causa principale di perdita sia dovuta ai blocchi definiti lunghi, ossia con durata di circa 4 ore.



LE CENERI

La produzione oraria di ceneri è strettamente correlata al tipo di cippato utilizzato nel processo di combustione essendo il quantitativo di ceneri in esso presente dipendente dalla specie di biomassa utilizzata. Monitorare questa quantità significa quindi poter stabilire quale quota parte della risorsa non viene utilizzata dal processo di combustione ed inoltre individuare la provenienza del cippato che produce più ceneri.

Nel nostro caso specifico il cippato è interamente costituito dal legno vergine di ceduo proveniente dalla Valle Stura; il quantitativo di ceneri monitorato è circa 0,01-0,02% in peso della biomassa in ingresso. Tale valore è molto basso anche alla luce dell'elevato tenore di umidità del materiale utilizzato.

LE EMISSIONI EVITATE ED IL RISPARMIO DELLE FONTI TRADIZIONALI

Gli impianti a biomassa forestale non si devono porre l'obiettivo di sostituire gli impianti tradizionali a combustibile fossile, bensì di integrare la loro produzione energetica permettendo così di risparmiare gasolio o metano e di contenere le emissioni di anidride carbonica, il gas serra per eccellenza.

Per il calcolo delle tonnellate di CO₂ evitate con la combustione di cippato forestale per la generazione di calore ed acqua calda sanitaria si può fare riferimento alla letteratura (Jungmeier 2000):

- Gasolio: 0,48 t CO₂/MWh;
- Metano: 0,367 t CO₂/MWh

Per il calcolo delle tonnellate equivalenti di petrolio risparmiate si deve tenere presente che il tep equivale alla quantità di energia ottenibile bruciando 1.000 Kg di petrolio (41,8 GJ o 11,6 MWh).



In riferimento all'impianto di Campo Ligure si ottengono i risultati riportati in tabella E.8

Cippato Consumato (t)	Energia termica Prodotta (MWh)	Anidride carbonica evitata (t CO ₂ /MWh)		Risparmio di fonti fossili (tep)
		Vs. Metano	Vs. Gasolio	
366	489,4	179,61	234,91	42,19

Tabella E.8: Principali indicatori di impatto ambientale impianto di Campo Ligure

Tutte le utenze dell'impianto dell'impianto a biomasse forestali di Campo Ligure, prima della sua realizzazione, erano alimentate a metano, pertanto l'anidride carbonica reale evitata sarà pari a 179,61 t/MWh.

I CONSUMI ELETTRICI

La tab. E.9 che segue riporta i consumi di energia elettrica connessi al funzionamento dell'impianto di Campo Ligure. Indicano l'assorbimento degli ausiliari dell'impianto, quali i sistemi di sollevamento, di controllo e l'illuminazione.

MESE	ENERGIA ELETTRICA CONSUMATA [kWh]
OTTOBRE	455
NOVEMBRE	3016
DICEMBRE	4683
GENNAIO	4814
FEBBRAIO	4007
MARZO	5261
APRILE	868
TOTALE	23104

Tabella E.9: Consumi elettrici dell'impianto di Campo Ligure

**Tabella riassuntiva Campo Ligure**

CAMPO LIGURE			
	PARAMETRO	UNITA'	VALORE
	Volumetria cippato	mc	1110
	Quantità di cippato	q	3660
	Densità media cippato	kg/mc	3,30
	Potere calorifico inferiore cippato	kJ/kg	11986,4
	Consumo specifico medio	kg/kWh	0,75
	Energia termica Ottobre	MWh	18,3
	Energia termica Novembre	MWh	53,8
	Energia termica Dicembre	MWh	111,8
	Energia termica Gennaio	MWh	134,8
	Energia termica Febbraio	MWh	87,3
	Energia termica Marzo	MWh	83,6
	Energia termica totale	MWh	489,4
	Numero blocchi lunghi		20
	Numero blocchi corti		17
	Incidenza dei blocchi lunghi sul consumo di cippato	%	18,89
	Incidenza dei blocchi corti sul consumo di cippato	%	3,01
	Incidenza totale dei blocchi sul consumo di cippato	%	21,90
	Rendimento globale con i blocchi		0,40
	Funzionamento vs pieno carico		0,32
	Rendimento globale a regime		0,50
	Risparmio di combustibili fossili tradizionali	tep	42,19
	Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. metano)	t CO ₂	179,61
	Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. gasolio)	t CO ₂	234,91
	Consumi elettrici	kWh	23104



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



IMPIANTO DI ROSSIGLIONE



F) FASE 0 : INDIVIDUAZIONE PRELIMINARE DEI PARAMETRI.

Tale fase consiste nell'individuazione preliminare dei parametri oggetto del monitoraggio, nella definizione delle motivazioni della loro scelta e delle metodologie di misura, cioè le procedure standard che sono state utilizzate per eseguire le misure dei parametri scelti al fine che questi risultino il più possibile chiari e comprensibili.

Sono state individuate due differenti tipologie di parametri:

- I parametri energetici, che si riferiscono al processo energetico vero e proprio e coinvolgono grandezze quali la biomassa, le ceneri, i fumi di scarico, l'energia termica prodotta dal processo;
- I parametri funzionali, che si riferiscono alle condizioni operative in cui i componenti che realizzano il processo si trovano a funzionare e che quindi definiscono i guasti, i tempi riservati alla manutenzione ordinaria ed a quella straordinaria, gli arresti dovuti ad un blocco del funzionamento del processo di combustione ecc.

I *parametri energetici* monitorati riguardano le caratteristiche delle seguenti grandezze:

- ✓ Cippato
- ✓ Ceneri
- ✓ Rendimenti del processo di conversione
- ✓ Energia prodotta dal processo e consumi

I *parametri funzionali* monitorati riguardano:

- ✓ Parametri di funzionamento caldaie
- ✓ Temperature circuito di teleriscaldamento
- ✓ Manutenzione straordinaria
- ✓ Manutenzione ordinaria

In particolare le caratteristiche del biocombustibile sono state monitorate nella Fase 1, mentre gli altri parametri energetici ed impiantistici sono stati monitorati nelle Fasi 2 e 3.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

G) FASE 1: MONITORAGGIO DEL BIOCOMBUSTIBILE.

Gli impianti di teleriscaldamento oggetto della seguente attività di monitoraggio sono alimentati a cippato forestale **completamente proveniente dal taglio del legno vergine dei boschi della Comunità Montana Valli Stura ed Orba.**

In generale, il cippato è composto dai pezzetti di legno ricavati dal taglio del legno vergine o dagli scarti delle segherie che lavorano legno proveniente da piante, privo quindi di sostanze inquinanti come vernici, impregnanti, colle e simili.

Il termine cippato deriva dal vocabolo inglese “chipping” che significa ridurre in scaglie; l’operazione di cippatura consiste nel ridurre il legno in scaglie e chips di dimensioni variabili (2-10 cm di lunghezza e spessore di qualche millimetro) per mezzo di apposite macchine chiamate cippatrici.

Le operazioni di taglio del legno vergine, di cippatura e di trasporto del biocombustibile alla bocca di impianto sono condotte da una società denominata “Agrifor” appartenente al consorzio forestale Valli Stura ed Orba. L’operazione di cippatura viene effettuata in un’apposita area vicino al bosco e distante rispettivamente 3 e 9 chilometri dalle caldaie di Campo Ligure e Rossiglione.

Normalmente il legno vergine viene direttamente cippato dopo il taglio e portato nei silos di stoccaggio degli impianti; solo raramente viene accumulato nell’area di cippatura. Tale procedura, se da un lato permette di ridurre i costi operativi di approvvigionamento e stoccaggio, dall’altro è la principale causa dell’alto contenuto idrico del biocombustibile che non ha modo di essere parzialmente essiccato a contatto con l’aria.

Dal 2006 si è avviata, inizialmente a livello di sperimentazione, una stagionatura naturale all’aperto di circa 6 mesi del legno vergine da cippare; questo è stato quindi utilizzato per un breve periodo compreso tra Gennaio e Febbraio 2007 nella ricarica dei silos con buoni risultati in termini di prestazioni degli impianti. Alla luce del miglioramento riscontrato si è provveduto a stagionare quantitativi maggiori di cippato vergine cosicché, nella stagione termica 2007-2008 in esame, gli impianti sono stati



alimentati quasi totalmente con cippato parzialmente stagionato (stagionatura naturale di 6-9 mesi).

La Fase 1 consiste nella definizione e misura delle principali caratteristiche chimico-fisiche del cippato.

In particolare sono state monitorate le caratteristiche sotto riportate:

- ✓ Umidità
- ✓ Massa volumica
- ✓ Peso
- ✓ Potere calorifico
- ✓ Provenienza
- ✓ Pezzatura

Alcune delle misurazioni sono state effettuate sulla popolazione completa di biocombustibile (peso, provenienza, volume), mentre altre, per ovvie ragioni di campionamento, sono state effettuate su una popolazione ristretta di 50 campioni da circa 3 chilogrammi ciascuno.

UMIDITÀ E CONTENUTO IDRICO

L'umidità del cippato esprime la massa di acqua presente in esso in rapporto alla massa del legno anidro [G.1].

$$u = \frac{Mu - Ma}{Ma} * 100 \quad (\%) \quad [G.1]$$

Mu: massa del legno umido

Ma: massa del legno secco (anidro)

Il contenuto idrico del cippato esprime la massa di acqua presente in esso in rapporto alla massa di legno fresco [G.2].

$$w = \frac{Mu - Ma}{Mu} * 100 \quad (\%) \quad [G.2]$$



E' possibile passare dal contenuto idrico w all'umidità u e viceversa mediante le [G.3] e [G.4].

$$u = \frac{100 * w}{100 - w} \quad (\%) \quad [G.3]$$

$$w = \frac{100 * u}{100 - u} \quad (\%) \quad [G.4]$$

Questa caratteristica è importante per diverse ragioni: in primo luogo la quantità di acqua presente modifica il contenuto energetico del cippato (indicativamente si passa, per un cippato generico, da 4 kWh/kg con un contenuto idrico del 20% a 3.4 kWh/kg con un contenuto idrico del 30%) con ovvie implicazioni sul processo di combustione (riduzione del rendimento). In secondo luogo, al variare del contenuto idrico, varia la massa volumica del cippato (peso per unità di volume) con implicazioni di carattere economico, logistico ed impiantistico: se il prezzo del cippato fosse stabilito per unità di peso, un maggiore contenuto di acqua, oltre a degradarne le caratteristiche energetiche, farebbe aumentare tale prezzo; a parità di peso, un cippato con maggiore contenuto idrico occuperebbe volumi maggiori, modificando le capacità dei sistemi atti a contenerlo sia per il trasporto che per lo stoccaggio; all'aumentare del contenuto idrico della materia prima, aumenta il quantitativo di condensa che può formarsi all'interno per esempio del silo di stoccaggio, con evidenti problemi legati all'azione dannosa che l'acqua può provocare sia alle strutture in muratura che ai sistemi meccanici (quali la coclea di alimentazione) o elettrici. Maggiore contenuto idrico del cippato si traduce anche in un aumento del vapore acqueo in camera di combustione che provoca un aumento delle formazioni di incrostazioni calcaree o la possibilità di formazione di soluzioni corrosive con conseguente aumento dei tempi e dei costi di manutenzione.

L'analisi del contenuto idrico della biomassa è stata condotta tramite misurazione diretta con "bilancia ad induzione" su almeno 3 diversi campioni per ogni carico dei silos, scelti random all'interno del volume, per un totale di quasi 200 campioni analizzati. Inoltre al



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

fine di verificare la bontà della misura dello strumento, per 20 campioni si è proceduto all'analisi in laboratorio già utilizzata nelle precedenti stagioni termiche. Con quest'ultima metodologia, per ogni campione, il contenuto idrico viene misurato portando la biomassa fino alla temperatura di 105° C e mantenendola per un tempo di circa 8 ore; oltre a tale intervallo di tempo l'umidità rimane praticamente invariata ad un successivo riscaldamento del cippato, pertanto si è ritenuto che dopo tale periodo si sia verificata la completa evaporazione della massa liquida.

L'andamento della curva si scosta da quello tipico a campana evidenziato anche nelle stagioni precedenti, ma presenta un picco più marcato nell'intorno del 30 % di contenuto idrico ed uno meno pronunciato in concomitanza con valori del 35%. Si deve comunque notare come entrambi i valori siano notevolmente al di sotto di quelli riscontrati nelle annate precedenti. La presenza di due picchi è invece dovuta all'utilizzo in alcuni periodi di cippato sottoposto ad una più breve stagionatura, verosimilmente si può ritenere di avere un contenuto idrico prossimo al 30% con stagionatura di 8-9 mesi e del 35% quando è limitata a 5-6 mesi. Il miglioramento globale relativo alle caratteristiche qualitative del cippato che va ad alimentare l'impianto ha comunque indubbi riflessi positivi, sia economici che funzionali, sull'intero sistema.



Nella Figura G.1 è riportato il contenuto idrico (%) dei diversi campioni di cippato;

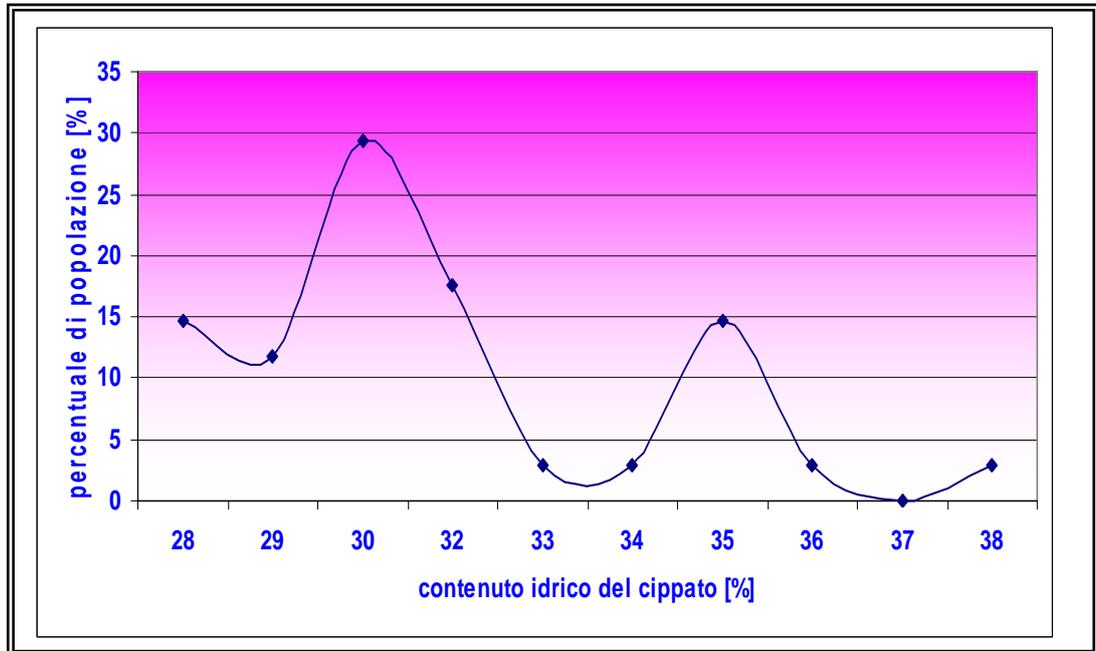


Figura G.1: Andamento del contenuto idrico dei campioni di cippato analizzati

È poi possibile convertire ogni valore del contenuto idrico in valori di umidità e viceversa mediante la Tabella G.1.

w	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
u	11,1	17,6	25	33,3	42,9	53,8	66,7	81,8	100	122,2	150

u	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
w	9,1	13	16,7	20	23,1	25,9	28,6	31	33,3	35,5	37,5

Tabella G.1: Tabella di conversione umidità-contenuto idrico biomassa

**MASSA VOLUMICA E PESO**

La massa volumica ed il peso del cippato sono grandezze tipiche di ogni combustibile, che vanno monitorate per le motivazioni viste sopra essendo queste grandezze direttamente correlate al contenuto idrico.

N°	DATA	ORA	QUANTITA'		LOCALITA' Provenienza	UMIDITA' %
			mc	Q		
1	15/10/2008	11:00	30	99	Garazzo	
2	22/10/2008	10:00	30	99	Garazzo	
3	27/10/2008	11:00	30	99	Garazzo	
4	31/10/2008	9:00	30	99	Garazzo	
5	04/11/2008	10:50	30	99	Garazzo	
6	08/11/2008	16:00	30	99	Garazzo	
7	09/11/2008	15:30	30	99	Garazzo	
8	14/11/2008	17:30	30	99	Garazzo	
9	16/11/2008	9:00	30	99	Maliarda	
10	20/11/2008	10:30	30	99	Maliarda	
11	21/11/2008	9:00	30	99	Maliarda	
12	26/11/2008	12:00	30	99	Maliarda	
13	29/11/2008	14:00	30	99	Maliarda	
14	01/12/2008	11:00	30	99	Garazzo	
15	06/12/2008	11:30	30	99	Garazzo	32
16	07/12/2008	14:00	30	99	Garazzo	35
17	12/12/2008	17:30	30	99	Garazzo	32
18	14/12/2008	12:00	30	99	Garazzo	33
19	17/12/2008	13:50	30	99	Garazzo	35
20	19/12/2008	11:30	30	99	Garazzo	35
21	21/12/2008	11:50	30	99	Garazzo	32
22	09/01/2008	11:00	30	99	Garazzo	30
23	14/01/2008	9:00	30	99	Garazzo	30
24	18/01/2008	9:00	30	99	Garazzo	29
25	21/01/2008	10:00	30	99	Garazzo	30
26	24/01/2008	9:00	30	99	Garazzo	29
27	28/01/2008	10:00	30	99	Garazzo	30
28	31/01/2008	10:00	30	99	Garazzo	30
29	06/02/2008	10:00	30	99	Garazzo	32
30	06/02/2008	14:30	30	99	Garazzo	32
31	11/02/2008	15:30	30	99	Garazzo	30
32	12/02/2008	11:30	30	99	Garazzo	28
33	15/02/2008	10:40	30	99	Garazzo	29
34	19/02/2008	10:30	30	99	Garazzo	28
35	21/02/2008	11:30	30	99	Garazzo	30
36	23/02/2008	13.30	30	99	Garazzo	35
37	26/02/2008	10:30	30	99	Garazzo	36
38	29/02/2008	10:00	30	99	Garazzo	35
39	29/02/2008	13:30	30	99	Garazzo	34
40	03/03/2008	13:15	30	99	Garazzo	38
41	05/03/2008	11:40	30	99	Garazzo	32
42	06/03/2008	16:30	30	99	Garazzo	31
43	11/03/2008	10:00	30	99	Garazzo	28
44	11/03/2008	15:00	30	99	Garazzo	28
45	15/03/2008	9:00	30	99	Garazzo	30
46	18/03/2008	9:30	30	99	Garazzo	30
47	19/03/2008	16:30	30	99	Garazzo	29
48	29/03/2008	9:30	30	99	Garazzo	28
49	01/04/2008	17:30	30	99	Garazzo	30

Tabella G.2: Carichi del silo a cippato di Rossiglione



Nella Tabella G.2 sono riportati i dati relativi al peso ed al volume di ogni carica del silo di Rossiglione, nonché la provenienza catastale del legno vergine, la data e l'ora delle fasi di caricamento; nell'ultima colonna è inoltre riportato il valore del contenuto idrico misurato con bilancia ad induzione.

I valori del contenuto idrico, come visto in precedenza ed evidenziato in Fig. G1, risultano ridotti di circa il 25-30% rispetto a quelli riscontrati nelle stagioni precedenti; è comunque opportuno sottolineare che i valori riportati sono misurati all'ingresso dei silos, mentre i valori a bocca di caldaia si ritengono peggiorati, in conseguenza delle infiltrazioni di acqua, in talune circostanze anche del 10-15%.

Il silo di stoccaggio della centrale è stato caricato con una frequenza di due carichi alla settimana circa. Il volume medio di stoccaggio ha oscillato intorno al 55-90% del volume geometrico del silo.

Nella Tabella G.3 sono riportati i consumi medi mensili di cippato per la caldaia di Rossiglione.

MESE	QUANTITA'		DENSITA'
	mc	q	(q/mc)
OTTOBRE (*)	90	300	3,33
NOVEMBRE	290	980	3,38
DICEMBRE	235	745	3,17
GENNAIO	195	645	3,31
FEBBRAIO	300	1000	3,33
MARZO	320	1040	3,25
TOTALE	1430	4710	3,29

Tabella G.3: Consumi mensili impianto di Rossiglione (2007-2008)

(*) Il mese di Ottobre non è completo perché il periodo di riscaldamento è iniziato il giorno 21.



POTERE CALORIFICO INFERIORE

Anche il potere calorifico risulta una grandezza dipendente dalle precedenti ed il cui valore è fondamentale per definire il processo in tutte le sue fasi, dalla progettazione alla distribuzione del prodotto finito. Dalla conoscenza di tale valore dipendono per esempio il dimensionamento di componenti quali la caldaia e l'eventuale recuperatore di calore, la portata di combustibile necessaria per fornire il quantitativo di energia richiesto e quindi il dimensionamento dei componenti per l'approvvigionamento della risorsa, la possibilità di attribuire un prezzo univoco a prescindere dal contenuto idrico. Ecco come proprio il contenuto idrico, anche in questo caso, risulta essere un parametro fondamentale nell'analisi globale dell'impianto.

Ovviamente non è stato possibile effettuare un controllo esaustivo di tutto il combustibile entrante nelle caldaie, per cui il potere calorifico è stato calcolato indirettamente a partire dai valori del contenuto idrico dei 50 campioni di cippato.

Infatti, dai valori tabellari (Figura G.2) e dalle formule presenti in letteratura [G.5] è possibile risalire dal contenuto idrico (%) al contenuto energetico (kJ/kg o kWh/kg) una volta nota la tipologia e le caratteristiche chimico-fisico della biomassa in esame.

$$(P.C.I.)_w = \frac{18,5 * (100 - w) - 2,44 * w}{100} * 0,278 \quad (\text{kWh/kg}) \quad [\text{G.5}]$$

Sulla base dei risultati di massa volumica dei carichi e del contenuto idrico del cippato è stato possibile calcolare un valore medio del potere calorifico inferiore della biomassa che ha alimentato ogni centrale nella stagione di riscaldamento 2007-2008. Tale valore, corrispondente ad un contenuto idrico pari a 31,32%, vale:

- Rossiglione: 31,32 % \Rightarrow 11951,3 kJ/kg

$$(P.C.I.)_{2007-2008} = 11951,3 \text{ kJ/kg}$$

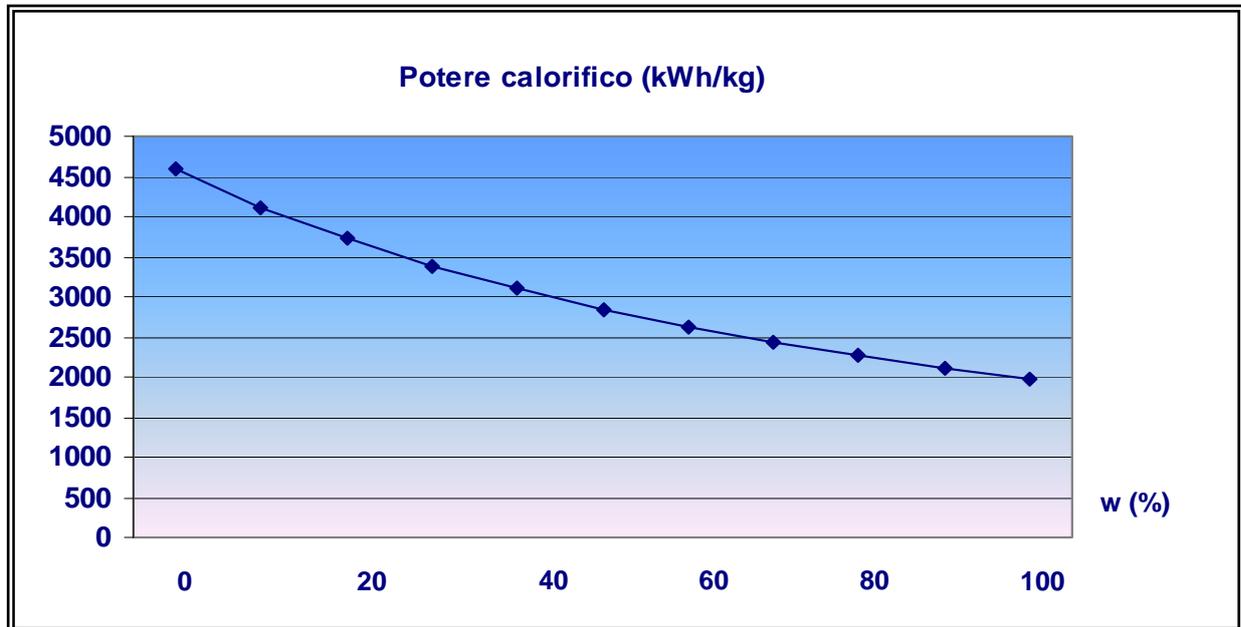


Figura G.2: Potere calorifico inferiore in funzione del contenuto idrico w (%)



PROVENIENZA CIPPATO

Poter monitorare e quindi conoscere con precisione la provenienza della biomassa cippata può dare preziose informazioni sulla specie di legname dal quale è stata ricavata e quindi sulle sue qualità in termini di contenuto idrico ed energetico. A seconda che si tratti di cippato di faggio, abete, castagno, robinia ecc. varia la composizione in termini percentuali dei componenti costituenti (in particolare cellulosa e lignina) variando di conseguenza la massa volumica ed il contenuto energetico. Se inoltre si conoscono le caratteristiche climatiche della zona di provenienza della materia prima si possono avere già delle informazioni sul contenuto di umidità di tale risorsa.

In Valle Stura è stato istituito un Sistema Informativo per la filiera Bosco Energia (*SIBE*); *il SIBE* è un sistema informativo territoriale basato sulla tecnologia GIS (*Geographic Information System*) costituito da un sistema integrato di data base cartografici e non cartografici collegati in rete.

Tale sistema di monitoraggio costituisce:

- Uno strumento conoscitivo del territorio e delle sue dinamiche naturali ed antropiche;
- Uno strumento di supporto alle politiche territoriali, forestali ed energetiche
- Uno strumento per il monitoraggio delle utilizzazioni forestali collegate al progetto biomasse e del loro impatto sul territorio

In questo modo tutto il combustibile alla bocca di impianto è “certificato” e di esso si conosce univocamente la tipologia di legname e la particella catastale di provenienza.

PEZZATURA DEL CIPPATO

L'aspetto più importante riguardante la pezzatura del cippato è rappresentato dal fatto che questo parametro è fondamentale per il corretto svolgimento del processo di combustione; un cippato di pezzatura troppo elevata (maggiore di qualche millimetro di spessore e di 15 centimetri di lunghezza) o comunque di natura disomogenea provoca una combustione non ottimale, con un decadimento delle prestazioni dell'impianto ed un conseguente maggior consumo di combustibile.



Da ogni campione di cippato analizzato ($N^{\circ} = 50$) è stato prelevato un'ulteriore campione di 1000 pezzi di cui si è misurato la composizione fisica (presenza di corteccia o meno), la lunghezza e la larghezza.

Tali misurazioni sono riportate nelle Figure G.3, G.4, G.5, G.6 e G.7.

- ✓ Figura G.3: Lunghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione (%); si evidenzia un picco di concentrazione corrispondente alla lunghezza di 3 cm (25%);
- ✓ Figura G.4: Larghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione (%); si evidenzia un picco di concentrazione corrispondente alla larghezza di 1 cm (46%);
- ✓ Figura G.5: Percentuale di cippato con corteccia, senza corteccia o miste; si evidenzia la maggioranza di cippato senza corteccia (95%)
- ✓ Figura G.6: Esempio di misurazione di un campione

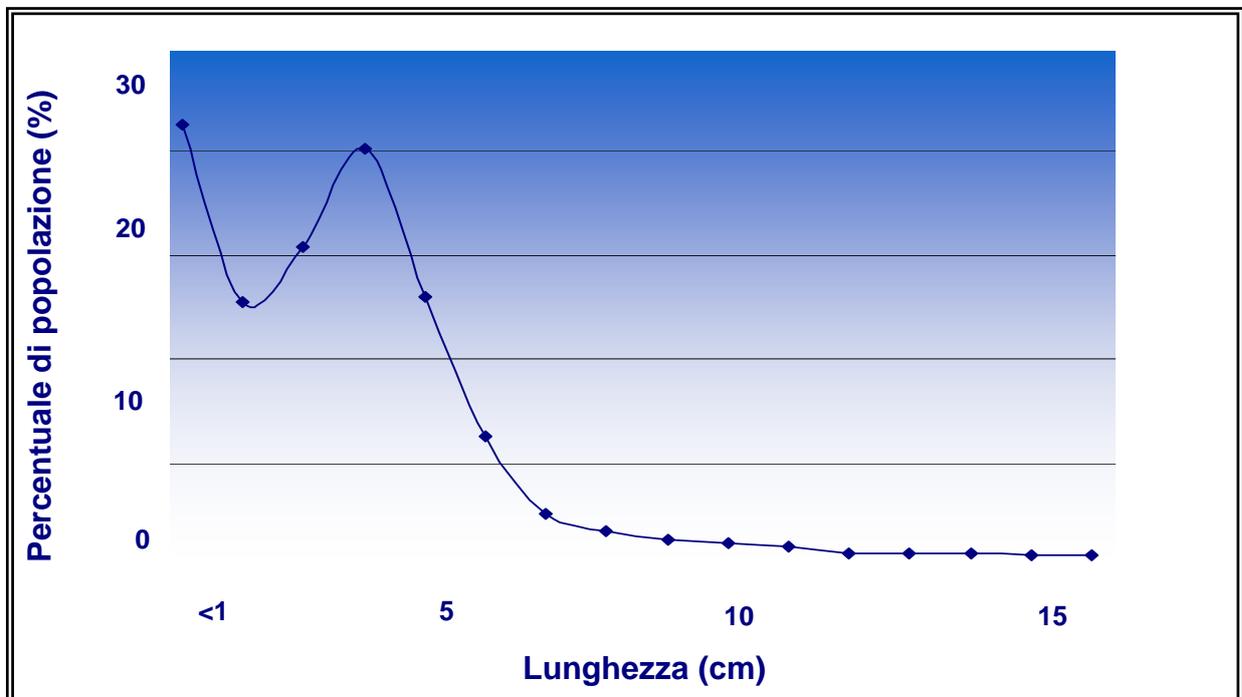


Figura G.3: Lunghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione

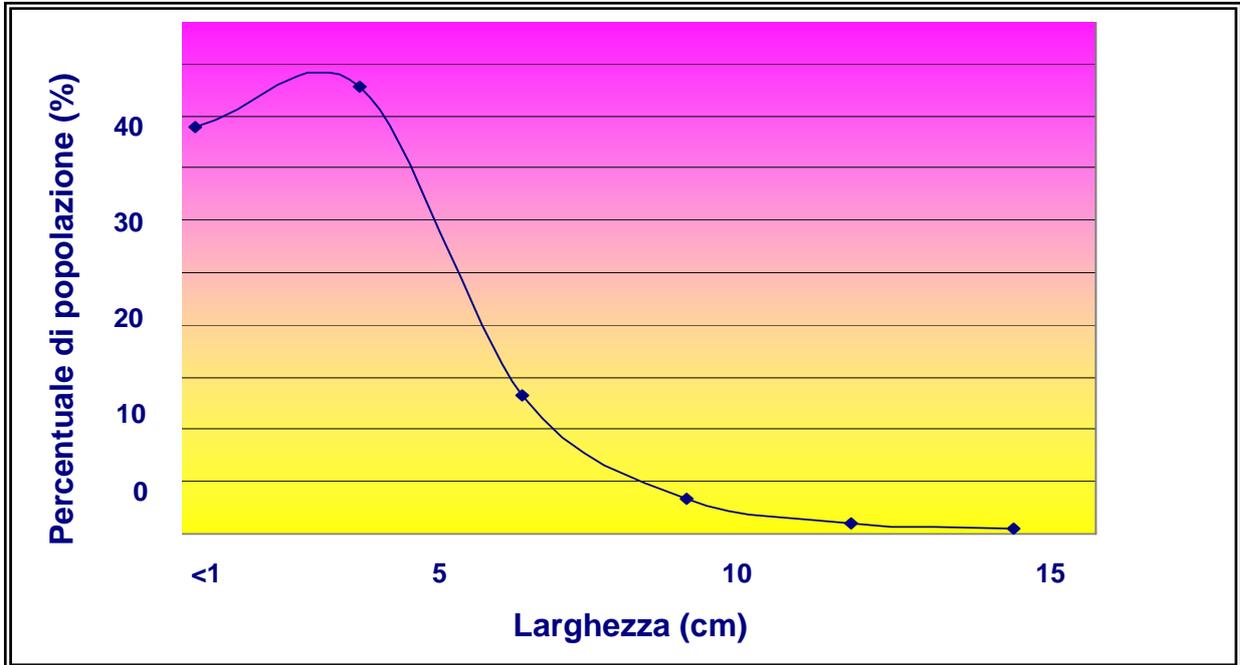


Figura G.4: Larghezza del cippato in funzione della percentuale di popolazione

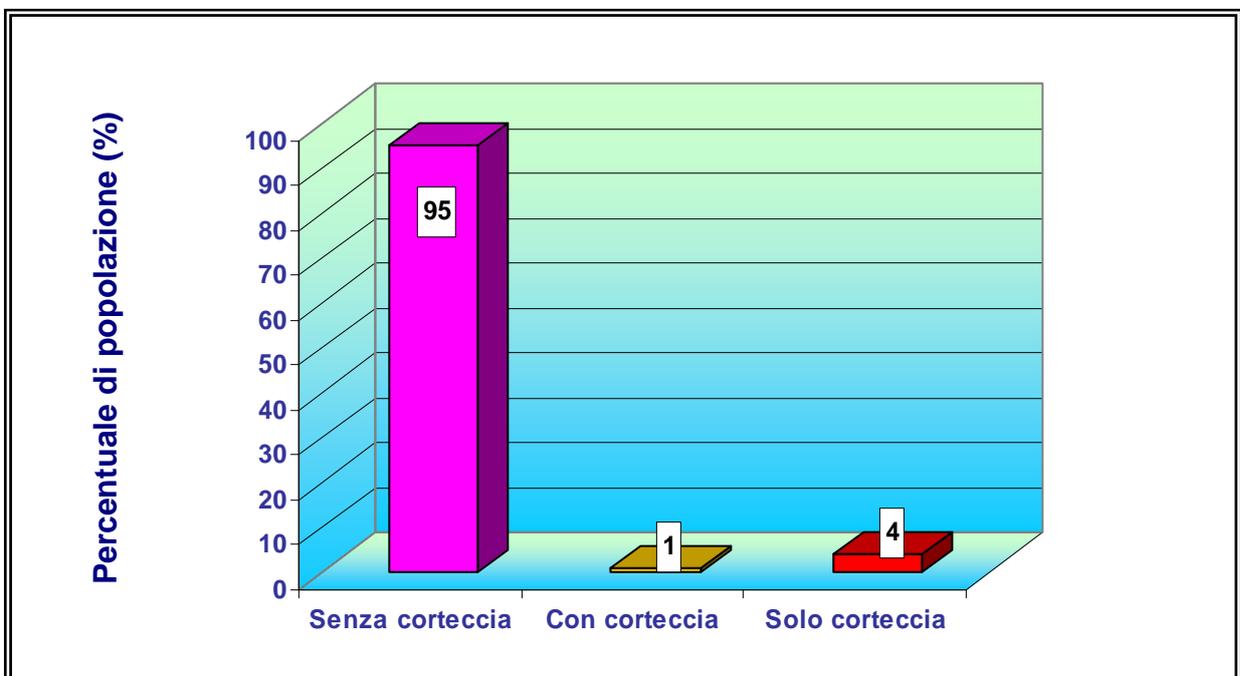


Figura G.5: Caratteristiche del cippato



		Lunghezza (cm)															
		<1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Larghezza (cm)	<1	205	47	38	14	21	12	3	3	2	1	1		1	1		
	1		111	115	127	53	26	6	3	5	1			2			1
	2			71	62	19	13	4	2	1						1	
	3				12	6	5	1									
	4					3	1										
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	11																
	12																
	13																
	14																
15																	

Figura G.7: Esempio di misurazione di un campione



H) FASE 2: MONITORAGGIO IMPIANTI.

La seguente fase è stata suddivisa in due campagne di monitoraggio accomunate dallo stesso obiettivo di ottimizzazione degli impianti:

Attività di monitoraggio energetico: Il monitoraggio dei consumi energetici è fondamentale perché strettamente collegato agli aspetti economici finanziari ed anche perché fornisce elementi di supporto decisionali per la gestione dell'impianto e della sua manutenzione. Le centrali della Valle Stura sono state dimensionate tenendo conto dei dati di targa delle caldaie esistenti alimentate a combustibili fossili e di stime previsionali in accordo con la normativa vigente; in realtà, come è emerso anche dal primo anno di attività di monitoraggio, i valori di potenza nominale di ogni impianto sono in grado di soddisfare i fabbisogni di più utenze di quelle per il quale sono stati dimensionati.

In questo senso si capisce l'importanza primaria del monitoraggio energetico, l'unico in grado di evidenziare in modo univoco il reale fabbisogno termico delle utenze collegate all'impianto e di stabilire alcune indicazioni come il fabbisogno medio, i picchi di richiesta, etc.

Inoltre, i risultati prodotti dall'attività di monitoraggio energetico e la reale ripartizione dei consumi termici permettono di fornire elementi conoscitivi ottimizzati per la costruzione di nuove centrali alimentate a biomassa forestale con costi del kWh più contenuti e, di conseguenza, periodi di ammortamento dell'investimento molto più brevi.

I principali punti del monitoraggio energetico e dello studio dei risultati ad esso inerenti sono stati:

- Calcolo del fabbisogno termico giornaliero, mensile ed annuale;
- Stesura del diagramma di carico dell'impianto
- Stima del fabbisogno termico di punta e del valore medio (utile per definire il dimensionamento ridondante necessario a coprire solo alcuni picchi per i quali può essere conveniente prevedere un sistema di integrazione);
- Rendimento globale dell'impianto nei diversi periodi di funzionamento;



Attività di monitoraggio funzionale-impiantistico: Questa fase consiste nel monitorare il funzionamento dell'impianto ed in particolare la sua efficienza ed i suoi tempi di manutenzione. Lo svolgimento di questa parte di lavoro consente di fornire risultati fondamentali per la definizione della migliore tecnologia utilizzabile per lo sfruttamento delle biomasse e per ottimizzare il funzionamento degli impianti al fine di ridurre i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria, oltre che di spesa iniziale.

Gli aspetti che verranno monitorati, con modalità e metodologie stabiliti in modo opportuno durante la fase 0, sono:

- Tempo di funzionamento della caldaia;
- Rendimento di combustione;
- Rendimento globale e leggi di variazione del rendimento al variare della potenza;
- Rendimento di distribuzione;
- Fattore di intermittenza dell'impianto;
- Tempo di funzionamento dei dispositivi di carico del cippato;
- Riempimento medio del silo nell'arco della settimana (ottimizzazione del suo riempimento e dei trasporti del cippato) e calcolo del numero di giorni intercorrenti fra due rifornimenti;
- Quantitativo di ceneri prodotte;
- Tempi di manutenzione ordinaria e straordinaria;

L'intervallo delle osservazioni di misura è molto variabile a seconda degli aspetti da monitorare; ad esempio, il quantitativo delle ceneri prodotte richiede un'osservazione settimanale o anche bisettimanale, mentre le temperature e le pressioni di esercizio devono essere monitorate più volte durante il giorno (durante il processo di combustione).

Ovviamente, pur essendo state analizzate separatamente nella Fase 1, rientrano nella Fase 2 anche le caratteristiche qualitative e quantitative del biocombustibile (umidità, peso, potere calorifico, etc.).

**I) FASE 3: ANALISI DEI CONSUMI E DELLE RICHIESTE TERMICHE****CONSUMI UTENZE**

Come già sottolineato nell'introduzione la caldaia di Rossiglione ha una potenza nominale di targa 1200 kW termici e serve complessivamente 4 utenze (4 sottostazioni). Nella Tabella I.1 sono riportate le utenze collegate alla rete di teleriscaldamento e le potenze nominali di targa delle caldaie utilizzate prima dell'avvio dell'impianto a biomassa; laddove le utenze non avevano una caldaia pre-esistente è riportata una stima di fabbisogno termico calcolata sulla base delle volumetrie da riscaldare in accordo con la Legge 10/91.

ROSSIGLIONE		
N°	Utenza	kWth
1	Scuola media (Life)	350
2	Ospedale Barigione	250
3	Municipio-Cinema	320
4	C.R.I.	27
	TOTALE	947

Tabella I.1: Utenze impianto di Rossiglione (kWth caldaie pre-esistenti)

Su ogni sottostazione sono stati installati dei contatori di calore per la misurazione dei MWh consumati (Multical® 401 Kamstrup). In particolare, ogni strumentazione è dotata di sensori di temperatura in grado di misurare la temperatura di entrata (T_{in}) e di uscita (T_{out}) dell'acqua della rete e calcolarne il salto termico ($\Delta T = T_{in} - T_{out}$) e di un misuratore di flusso che calcola la portata di fluido circolante (q).

Il sistema integra i valori misurati nell'intervallo di tempo e determina la quantità di calore ceduto ad ogni sottostazione [I.1]

$$Q = q * c_p * \Delta T \quad (\text{kWhth}) \quad [I.1]$$



Il sistema Multical è dotata di una memoria interna che memorizza il picco di produzione del calore, la quantità di acqua circolante ed il numero di ore di funzionamento dal momento dell'installazione. Qualora si verificano dei malfunzionamenti visualizza un segnale di errore mediante un codice numerico (Tabella I.2)

Info-code	Descrizione errore	Tempo di risposta
000	Nessuna irregolarità	
002	Errore del sensore misuratore di portata	48 ore
004	Errore del sensore di misura della temperatura di ingresso dell'acqua	1-10 min
008	Errore del sensore di misura della temperatura di uscita dell'acqua	1-10 min
016	Aria nel misuratore di portata	
128	Batteria da cambiare	12 anni

Tabella I.2: Segnali di errore del contatore di calore Multical® 401 Kamstrup

Data l'esiguità del budget a disposizione non è stato possibile strumentare gli impianti con un sistema di misurazione continuo in grado di registrare i parametri fondamentali di funzionamento.

Per questo motivo il monitoraggio è stato condotto mediante un numero sufficiente di misurazioni condotte direttamente dall'Ing. Luca Marigo e Fausto Crosetti.

In particolare, le misurazioni sono state condotte due ore al giorno per due giorni alla settimana; in più sono state fatte nel corso della stagione di riscaldamento tre giornate di misurazioni continuative per verificare gli andamenti delle curve di carico delle utenze in giorni tipo della settimana (lunedì, mercoledì e sabato).

Nella tabella I.3 sono riportati i valori mensili del fabbisogno termico dell'impianto di Rossiglione.



MESE	OSPEDALE*	LIFE	MUNICIPIO CINEMA	CRI	TOTALE
OTTOBRE	9,7	14,0	16,8	4	44,5
NOVEMBRE	38,7	30,5	31,0	9,5	109,7
DICEMBRE	67,8	34,6	41,6	11	155,0
GENNAIO	29,0	36,3	44,6	12,3	122,2
FEBBRAIO	62,9	32,4	37,8	10	143,1
MARZO	61,1	26,5	36,5	7,67	131,8
TOTALE COMPLESSIVO	269,2	174,3	208,3	54,5	706,2

Tabella I.3: Fabbisogno termico mensile utenze Rossiglione (MWh termici)

* L'utenza dell'Ospedale per problemi di ordine gestionale per circa 3 settimane comprese tra la fine di Dicembre e la prima metà di Gennaio ha funzionato con la caldaia di assistenza a combustibile tradizionale; questo spiega la richiesta termica inferiore nel mese di Gennaio.

Nella Figura I.1 sono riportati gli andamenti del fabbisogno termico mensile (curva blu) e cumulativi (curva rosa) dell'impianto di Rossiglione.

A questo punto della trattazione è molto interessante calcolare un parametro importante che è il consumo specifico di cippato per ogni MWh termico prodotto, calcolabile come rapporto tra il cippato utilizzato ed il fabbisogno termico in un determinato periodo [I.2].

$$m_{sc} = \frac{M}{Q} \quad (\text{kg/kWh}_{th}) \quad [I.2]$$

Nella Tabelle I.4 sono riportati i valori dei consumi specifici mensili e totali dell'impianto. I risultati riportati mostrano valori estremamente positivi per il periodo di Dicembre e Gennaio, in linea quindi col fatto che nel periodo di maggior richiesta termica delle utenze l'impianto funziona in condizioni più vicine a quelle di regime e quindi le sue prestazioni sono migliori. Un'analisi particolare la richiede il mese di Gennaio in cui il consumo specifico risulta buono nonostante l'assenza per buona parte del periodo dell'utenza Ospedale, con conseguente richiesta termica globale inferiore rispetto ad altri mesi; si ritiene tuttavia che questo non abbia influenzato in maniera significativa le



prestazioni per la tipologia delle utenze interessate che escludendo l'Ospedale hanno una richiesta giornaliera abbastanza omogenea e distribuita solo su una fascia oraria limitata con conseguente funzionamento della caldaia nelle restanti ore in condizioni di mantenimento fiamma con consumi di cippato estremamente ridotti.

Confrontando i risultati della Tabella I.4 con quelli della tabella D.4 relativa all'impianto di Campo Ligure, si evidenzia un funzionamento migliore abbastanza simile ad esclusione dei mesi di Dicembre e Gennaio quando, per le ragioni sopraccitate, l'impianto di Rossiglione presenta performances migliori.

Come evidenziato anche per l'impianto di Campo Ligure, il peggioramento palesato nei mesi di Febbraio e Marzo è da ritenersi dovuto alla qualità del cippato alla bocca della caldaia, decisamente inferiore, con incrementi del contenuto idrico anche del 10 %, rispetto a quello introdotto nel silos.

MESE	QUANTITA'	ENERGIA	CONSUMO SPECIFICO
	[q]	[MWh]	[kg/kWh]
OTTOBRE	300	44,5	0,67
NOVEMBRE	980	109,7	0,89
DICEMBRE	745	155,0	0,48
GENNAIO	645	122,2	0,53
FEBBRAIO	1000	143,1	0,70
MARZO	1040	131,8	0,79
TOTALE	4710	706,2	0,67

Tabella I.4: Consumi specifici di cippato impianto di Rossiglione

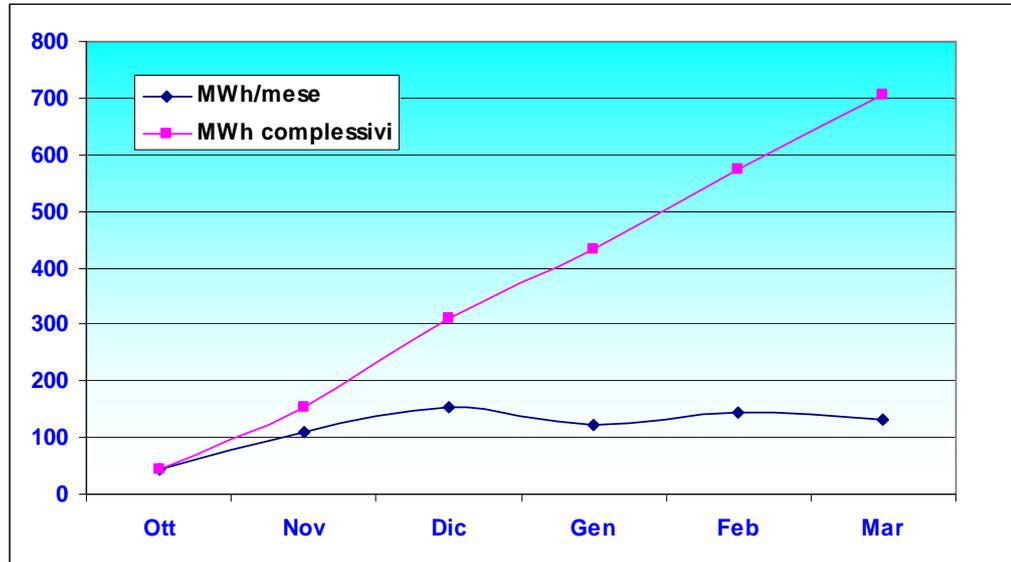


Figura I.1: Fabbisogno termico mensile e cumulativo impianto di Rossiglione



J) FASE 4: ANALISI DEI PARAMETRI FUNZIONALI-IMPIANTISTICI.

FUNZIONAMENTO CALDAIE

Il funzionamento della caldaia ha evidenziato problemi in fase di regime che hanno determinato frequenti blocchi, alcuni corti (1-2 ore) altri più lunghi (3-4 ore).

Le cause più frequenti delle interruzioni sono state i malfunzionamenti delle cellule delle coclee che si bloccavano a causa di alcuni elementi di cippato di dimensione troppo grossa. Poi si sono verificate altre interruzioni dovute al malfunzionamento di alcuni componenti come la coclea di estrazione delle ceneri, le rastrelliere dei silos, mancanza di elettricità, etc.

La durata del blocco è legata al funzionamento del sistema di teleallarme e telecontrollo entrato parzialmente in funzione a partire dalla stagione termica in esame. Tale sistema, attraverso sonde che rilevano parametri di funzionamento caratteristici, quando vengono superate le soglie di allarme prestabilite invia un segnale all'addetto di caldaia in modo da permettere un rapido intervento con conseguente riduzione degli effetti del blocco sulle prestazioni dell'impianto.

Infatti, per legge non è necessario un conduttore di caldaia come accade per i generatori di vapore, per cui il controllo da parte dell'operatore viene fatto sporadicamente nel corso della giornata e quando si verificano dei malfunzionamenti sugli impianti. Il sistema di teleallarme di cui disponeva la caldaia consentiva l'invio del segnale di errore in modo tempestivo e quindi il relativo ripristino della situazione in tempi relativamente brevi solo in alcuni casi (minima depressione, fine corsa di sicurezza, etc.) mentre in altri casi (temperatura minima camino a causa del blocco della cellula della coclea che dal silo arriva al locale caldaia) il segnale di errore veniva mandato solo quando la temperatura in camera di combustione scendeva al di sotto di un determinato valore, quindi all'arrivo dell'operatore la temperatura dell'acqua di mandata è intorno ai 40-50°. In questo caso ne conseguiva un tempo di stop di 3-4 ore circa necessario per riportare la temperatura dell'anello liquido ai valori di regime (80-85° C). Il sistema di teleallarme che sarà in dotazione a regime a partire dalla stagione termica 2008-2009 consentirà interventi rapidi anche in questi ultimi casi. Tale sistema,



installato in parte già nell'ultima stagione era ancora incompleto e si è potuto utilizzare solo per la sua taratura nella seconda metà del mese di Marzo, fase che ha consentito di iniziare a prenderne conoscenza in modo da poterlo sfruttare pienamente dall'inizio della prossima stagione. Inoltre si provvederà ad apportare le migliorie alle fotocellule e al fine corsa sicurezza sperimentate con buoni risultati a Campo Ligure.

Nella Tabella J.1 sono riportati i blocchi della caldaia di Rossiglione, divisi tra blocchi di lunga e corta durata.

MESE	N° BLOCCHI LUNGI	N° BLOCCHI CORTI	ORE DI STOP (circa)
OTTOBRE	0	0	0
NOVEMBRE	5	7	28
DICEMBRE	7	3	25
GENNAIO	3	4	13
FEBBRAIO	6	3	24
MARZO	8	3	33
TOTALE	29	20	123

Tabella J.1: Numero blocchi impianto di Rossiglione

Ovviamente, il numero dei blocchi influisce sul rendimento complessivo dell'impianto e sul consumo di biomassa.

Da un punto di vista teorico il rendimento η di ogni impianto è dato dal prodotto del rendimento complessivo di caldaia η_c e dal rendimento della rete η_{rete} [J.1].

$$\eta = \eta_c * \eta_{rete} \quad [J.1]$$

Il rendimento complessivo della caldaia vale 0,85 in condizioni di funzionamento prossime ai valori massimi di potenza nominale. Tale valore scende al variare delle



condizioni di carico, secondo una cosiddetta “curva di carico” che però non è stata fornita dal fornitore Uniconfort.

Il rendimento della rete si calcola considerando il salto termico tra la mandata dell’acqua all’uscita della centrale ed il ritorno quando tutte le utenze servite sono spente [J.2]. Tale valore è stato misurato sperimentalmente ed è di circa 4-5°C

$$\eta = 1 - \frac{(T_{mandata} - T_{ritorno})}{T_{mandata}} = 1 - \frac{80 - 76}{80} = 1 - 0,05 = 0,95 \quad [J.2]$$

Sostituendo nella [J.1] si ottiene il rendimento globale teorico dell’impianto pari a 0,807. Il rendimento effettivo degli impianti si può calcolare secondo la [J.3], che esprime il rapporto tra la potenza termica prodotta e la potenza termica introdotta come input mediante la biomassa entrante in camera di combustione.

$$\eta = \frac{Q * 3600}{M_c * H_i} \quad [J.3]$$

Q = Energia termica prodotta (kWh)

Mc = Cippato consumato (kg)

Hi = potere calorifico inferiore del cippato

Nella Tabella J.2 vengono riportati il rendimento complessivo dell’impianto nei diversi mesi dell’anno; per il potere calorifico inferiore è stato sempre considerato un valore medio pari a 11980,3 kJ/kg.



MESE	QUANTITA' [q]	ENERGIA [MWh]	CONSUMO SPECIFICO [kg/kWh]	RENDIMENTO GLOBALE
OTTOBRE	300	44,5	0,67	0,45
NOVEMBRE	980	109,7	0,89	0,34
DICEMBRE	745	155,0	0,48	0,65
GENNAIO	645	122,2	0,53	0,55
FEBBRAIO	1000	143,1	0,70	0,43
MARZO	1040	131,8	0,79	0,38
TOTALE	4710	706,2	0,67	0,45

Tabella J.2: Rendimenti complessivi impianto di Rossiglione

Coerentemente con l'andamento del consumo specifico, i migliori rendimenti si riscontrano nei mesi di Dicembre e Gennaio; gli altri mesi hanno invece un rendimento abbastanza costante, dipendente dalle richieste termiche e quindi dall'andamento climatico; questo è indice di una buona regolazione dei parametri di combustione.

Confrontando i valori della tab. J.2 con quelli della E.2, relativi all'impianto di Campo Ligure, si nota il miglior rendimento dell'impianto di Rossiglione.

Tuttavia i rendimenti risultano inferiori a quelli attesi di progetto per il sovradimensionamento dell'impianto con conseguente funzionamento della caldaia lontano dalla potenza nominale di targa in punti in cui il rendimento di caldaia si abbassa notevolmente.

I risultati riportati nelle Tabelle precedenti sono visualizzati in forma grafica nelle seguenti figure, riportanti anche il confronto dei due impianti (Campo Ligure e Rossiglione) relativamente ad alcuni parametri analizzati:

- Figura J.1: Consumo specifico di cippato dell'impianto di Rossiglione (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa);
- Figura J.2: Consumo specifico di cippato dell'impianto di Campo Ligure (linea blu) e di quello di Rossiglione (linea rosa);
- Figura J.3: Rendimento globale dell'impianto di Rossiglione (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa);
- Figura J.4: Rendimento globale dell'impianto di Campo Ligure (linea blu) e di quello di Rossiglione (linea rosa);

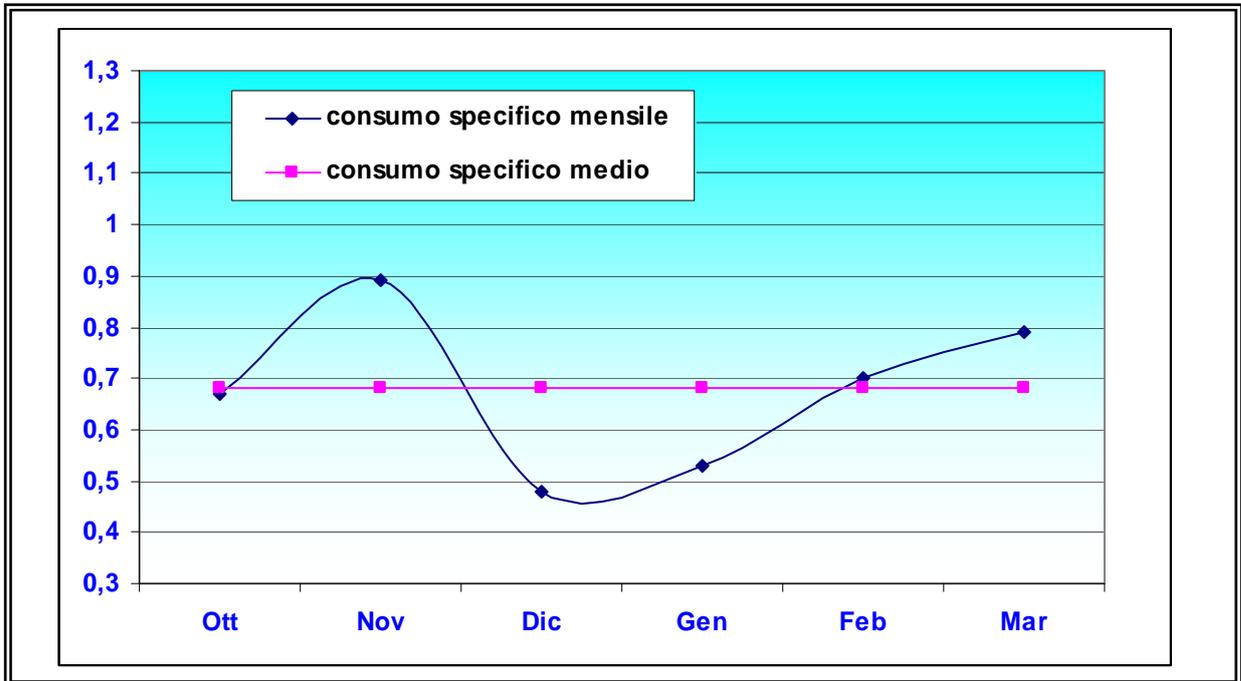


Figura J.1: Consumo specifico mensile e medio di cippato a Rossiglione

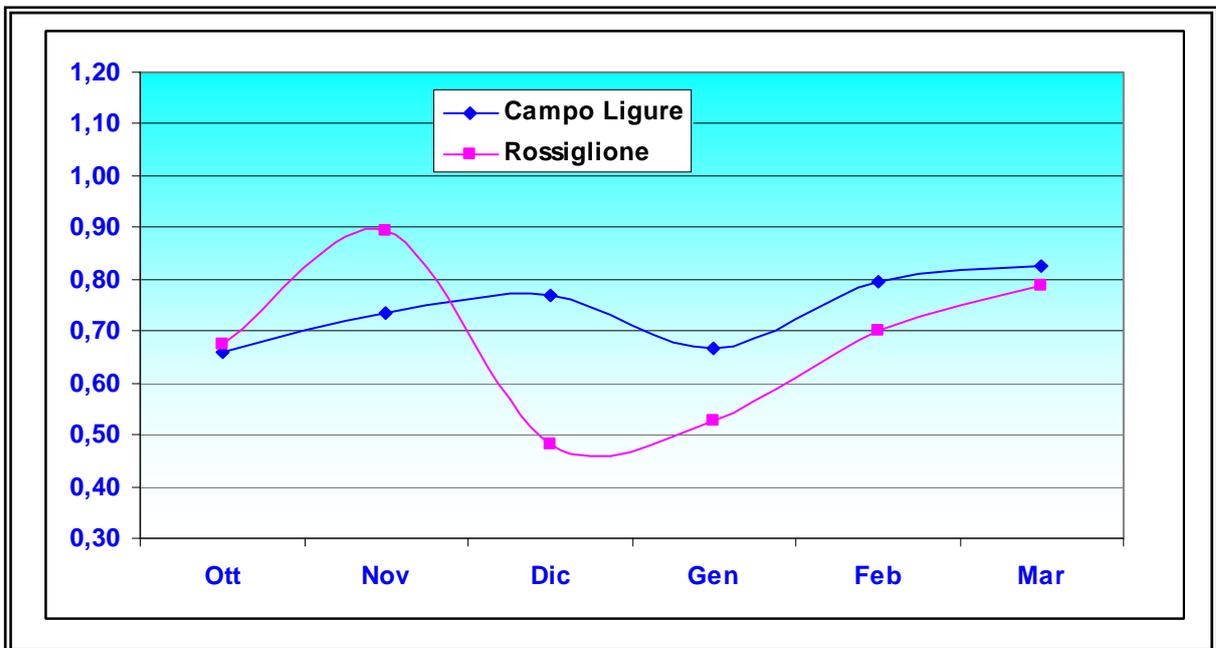


Figura J.2: Consumo specifico mensile cippato di Campo Ligure e Rossiglione

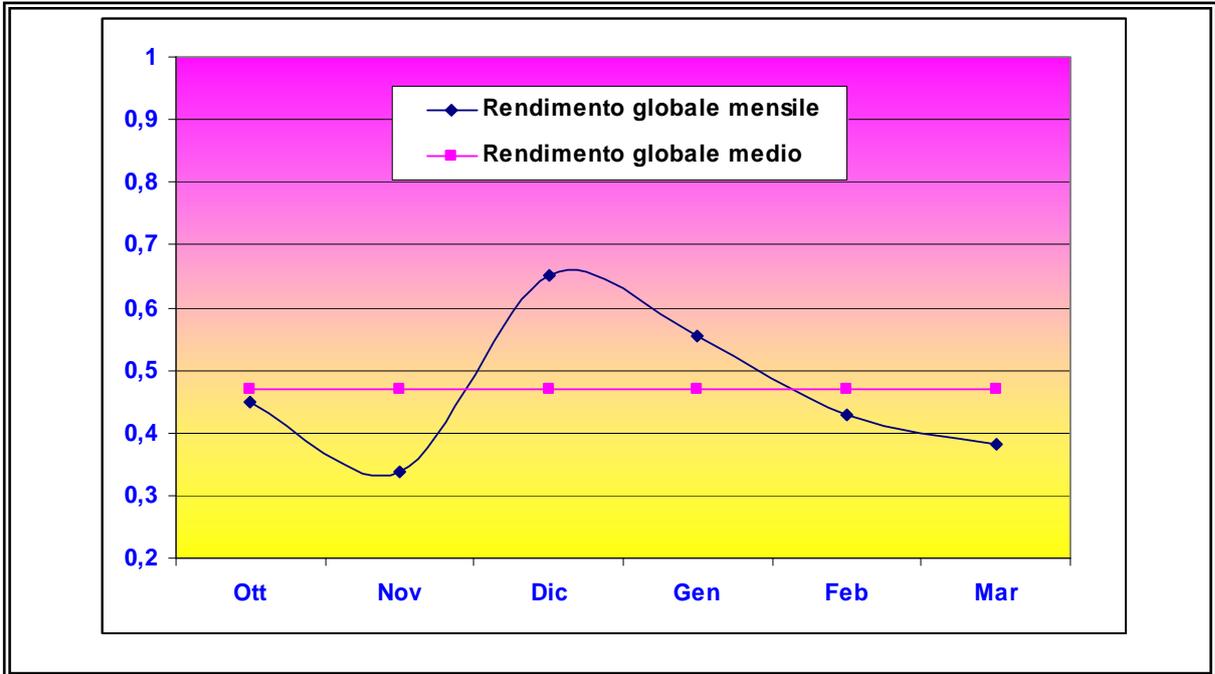


Figura J.3: Rendimento globale mensile e medio di Rossiglione

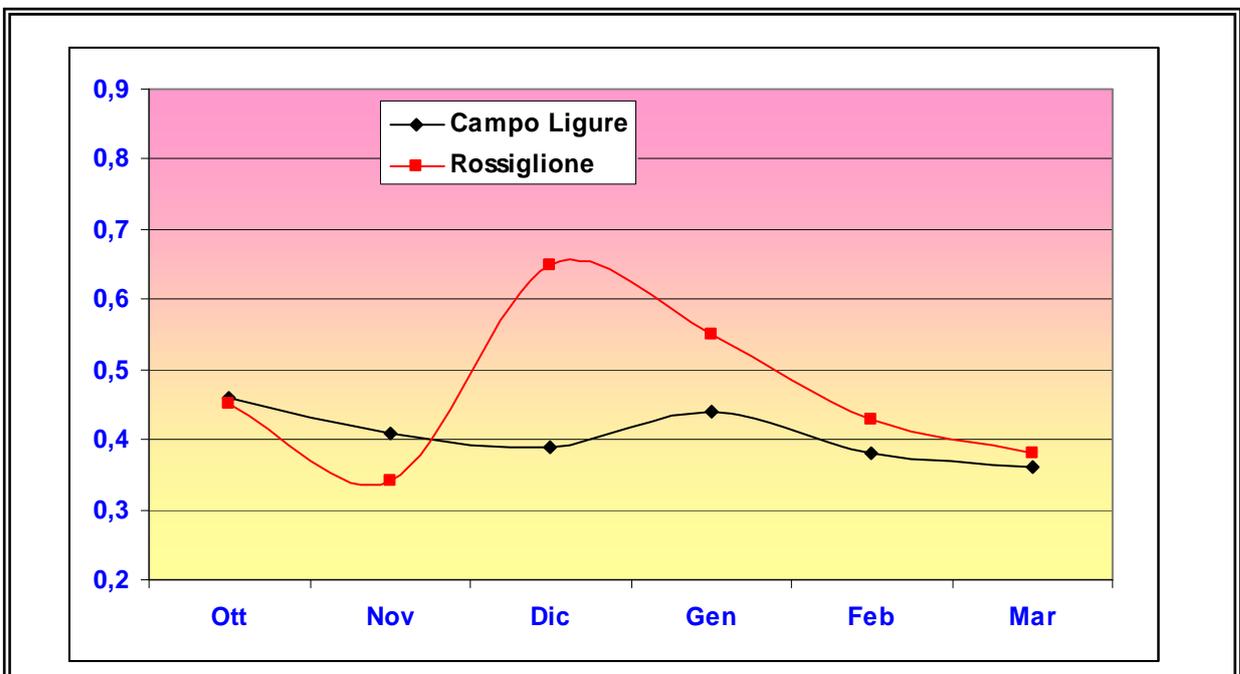


Figura J.4: Rendimento globale mensile Campo Ligure e di Rossiglione



Si può calcolare il funzionamento dell'impianto rispetto alle condizioni di pieno carico in termini di energia termica prodotta. Anche il comune di Rossiglione, come quello di Campo Ligure, appartiene alla Fascia E di riscaldamento (183 giorni all'anno per 14 ore giornaliere) per cui l'energia termica producibile si calcola mediante la [J.4], dove il numero di giorni è 165 nel nostro periodo di osservazione (18 Ottobre 2007 – 31 Marzo 2008)

$$E = Nd * Nh * P \quad [J.4]$$

E = Energia termica prodotta

P = potenza nominale di targa della caldaia.

Nd = numero di giorni di riscaldamento

Nh = numero di ore giornaliere di riscaldamento

Quindi:

$$(E)_{\text{Rossiglione}} = 2.772.000 = 2.772 \text{ MWh}$$

Mettendo a rapporto il quantitativo di energia termica prodotto con il valore teorico si ottiene il funzionamento dell'impianto rispetto alle condizioni di pieno carico. In particolare, nella Tabella J.5 è riportato il valore di tale rapporto per l'impianto di Rossiglione.

MESE	ENERGIA [MWh]	NUMERO DI ORE [h]	ENERGIA TEORICA [MWh]	FUNZIONAMENTO vs PIENO CARICO
OTTOBRE	44,5	182	218,4	0,20
NOVEMBRE	109,7	420	504,0	0,22
DICEMBRE	155,0	434	520,8	0,30
GENNAIO	122,2	434	520,8	0,23
FEBBRAIO	143,1	406	487,2	0,29
MARZO	131,8	434	520,8	0,25
TOTALE	706,2	2310	2772	0,25

Tabella J.3

Funzionamento impianto di Rossiglione rispetto alla condizione di pieno carico

I risultati riportati nella Tabella J.5 sono riportati in forma grafica nella Figura J.5, mentre nella Figura J.6 è riportato il confronto relativo al funzionamento mensile dell'impianto di Campo Ligure e di Rossiglione rispetto alla potenza di targa (100%).

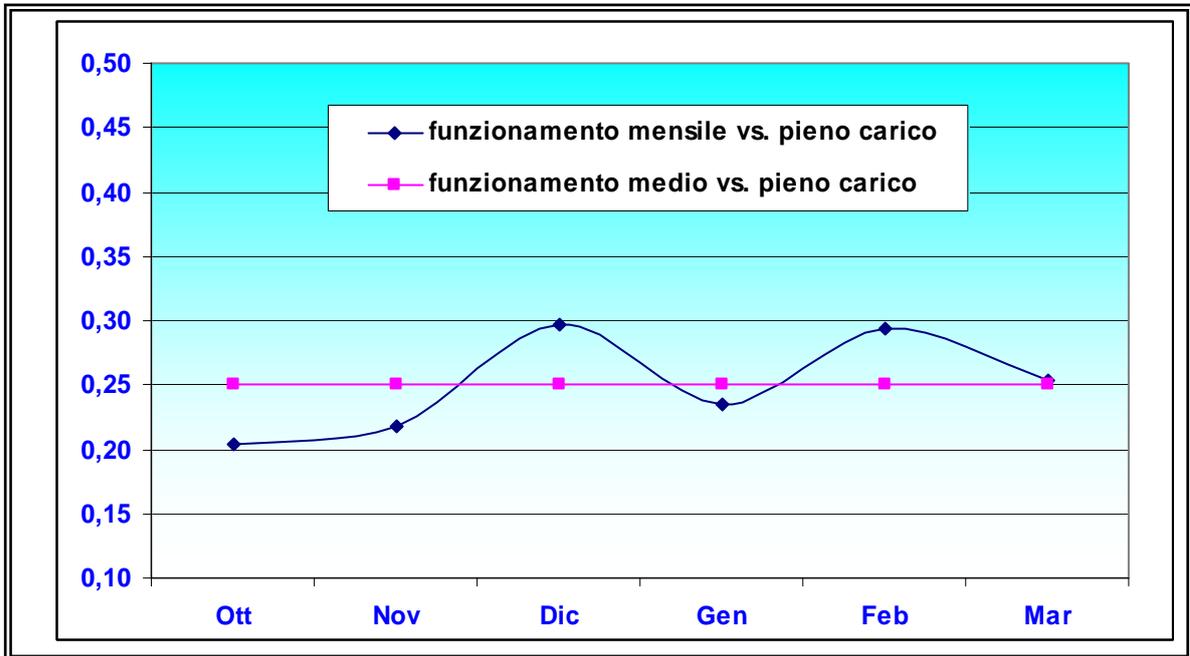


Figura J.5: Funzionamento mensile e medio dell'impianto di Rossiglione rispetto alla condizione di pieno carico

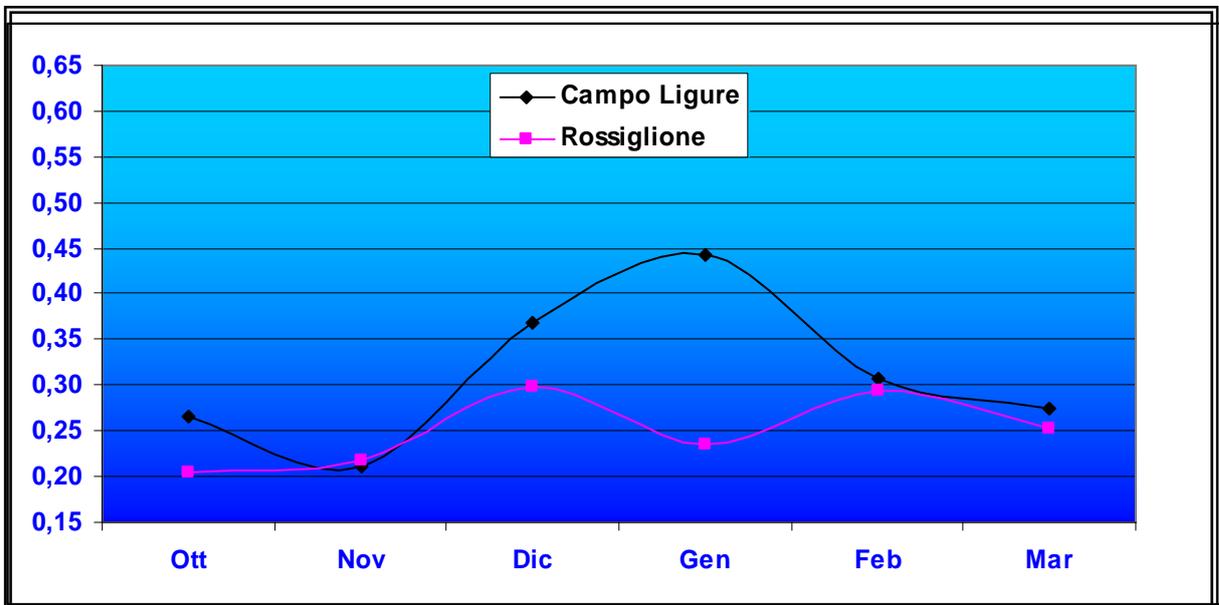


Figura J.6: Funzionamento mensile degli impianti di Campo Ligure e di Rossiglione rispetto alla condizione di pieno carico



La Fig. J.5 mostra, come prevedibile, che i valori massimi del funzionamento rispetto alla condizione di pieno carico si hanno nei mesi più freddi (in particolare Dicembre, Febbraio) quando la richiesta termica delle utenze risulta maggiore. Una considerazione a parte merita il mese di Gennaio, per il quale pesa il periodo di non funzionamento dell'Ospedale che è l'utenza maggiormente energivora, e che conseguentemente presenta il valore minimo.

Tuttavia risulta evidente il sottoutilizzo dell'impianto che, come mostrato in figura, anche nei periodi di picco risulta sfruttato soltanto per circa il 30% della sua potenza.

La Fig. J.6 mette a confronto lo sfruttamento dei due impianti, cioè la potenza utilizzata rispetto a quella disponibile, e mostra il loro elevato sottoutilizzo, ancor più marcato per l'impianto di Rossiglione specie nel mese di Gennaio in cui risultava non collegato l'Ospedale.

Un altro fattore che influenza notevolmente il rendimento sono i numerosi blocchi di impianto, per cui ha senso calcolare il rendimento degli impianti in condizioni di funzionamento a regime, cioè in assenza di blocchi.

Per semplicità di calcolo si considera che la durata dei blocchi corti e lunghi si a rispettivamente 2 e 4 ore. Si è verificato che dopo un blocco corto la temperatura dell'acqua di mandata dalla caldaia diminuisce di circa 15° C, mentre dopo un blocco lungo la diminuzione di temperatura è di circa 40° C.

I valori di portata di acqua circolante nell'anello liquido è ricavabile dalla targa delle pompe di circolazione:

- Rossiglione: 82 m³/h

Risulta importante ai fini dell'analisi rilevare che le pompe non sono dotate di inverter, questo rende impossibile la modulazione della portata, quindi dopo ciascun blocco deve essere riportata in temperatura l'intera portata della rete con un evidente maggior dispendio di energia.



Nota questa grandezza è possibile calcolare la quantità di cippato consumato per riportare la caldaia a regime dopo ogni blocco mediante la [J.5].

$$mc = \frac{\dot{m} * (1000 / 3600) * c_{p_{acqua}} * \Delta T}{Hi} \quad [J.5]$$

mc = consumo specifico di cippato (kg/s)

\dot{m} = portata di acqua circolante (l/s)

$c_{p_{acqua}}$ = calore specifico dell'acqua a pressione costante [kJ/(kg*K)]

ΔT = salto termico per riportare l'acqua alla temperatura di regime

Hi = potere calorifico inferiore cippato (kJ/kg)

Per il calore specifico dell'acqua è stato scelto un valore medio pari a 4,182 kJ/kg*K corrispondente alla temperatura di 60° C ed alla pressione atmosferica.

Sostituendo i valori nella J.5 si ottiene:

COMUNE	BLOCCO LUNGO		BLOCCO CORTO	
	mc (kg/s)	Mc (kg)	mc (kg/s)	Mc (kg)
Rossiglione	0,319	4590,9	0,120	860,8

Tabella J.4: Consumi di cippato durante i blocchi

Nella tabella J.5 sono riportati i consumi di cippato per riportare a regime la caldaia dell'impianto Rossiglione.

Nella Figura J.7 sono riportati i consumi di cippato dovuti ai blocchi per l'impianto di Rossiglione; in particolare, la curva blu indica il consumo mensile, mentre quella rosa il consumo cumulativo per l'intera stagione di riscaldamento.



MESE	N° BLOCCHI LUNGI	N° BLOCCHI CORTI	CONSUMO DI CIPPATO (kg)
OTTOBRE	0	0	0,0
NOVEMBRE	5	7	28980,4
DICEMBRE	5	5	27258,8
GENNAIO	3	4	17216,1
FEBBRAIO	6	3	30128,1
MARZO	8	3	39310,0
TOTALE	27	22	142893,4

Tabella J.5: Consumi complessivi di cippato durante i blocchi a Rossiglione

La Figura J.8 riporta l'andamento del numero di blocchi lunghi e corti per l'impianto di Rossiglione.

L'impianto di Rossiglione produce 4,28 MWh di energia termica al giorno; per semplicità di calcolo si ipotizza che durante i blocchi la produzione di calore sia mediamente dimezzata.

A questo punto è possibile riutilizzare la J.3 che si viene così a modificare

$$\eta = \frac{Q^l * 3600}{M_c^l * H_i}$$

Q^l = Energia termica prodotta a regime (ottenuta togliendo da quella totale quella prodotta durante i blocchi)

M_c^l = Quantità di cippato utilizzata a regime (ottenuta togliendo da quella totale quella consumata durante i blocchi).

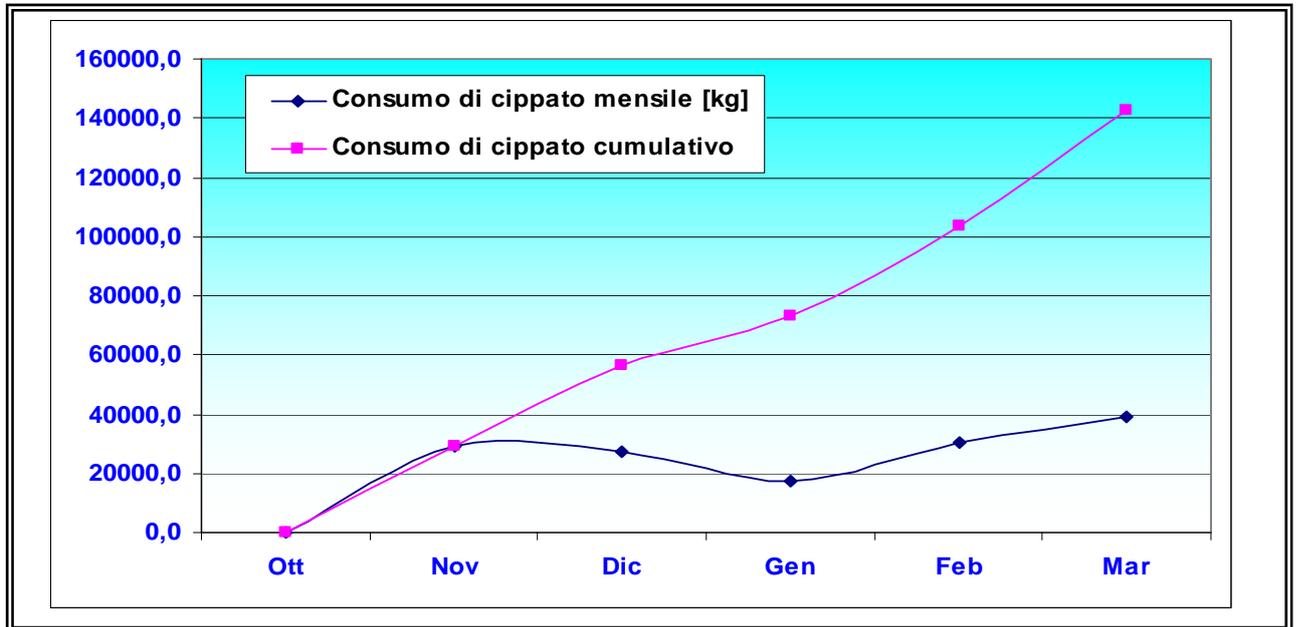


Figura J.7: Consumi mensili e cumulativi complessivi di cippato durante i blocchi a Rossiglione

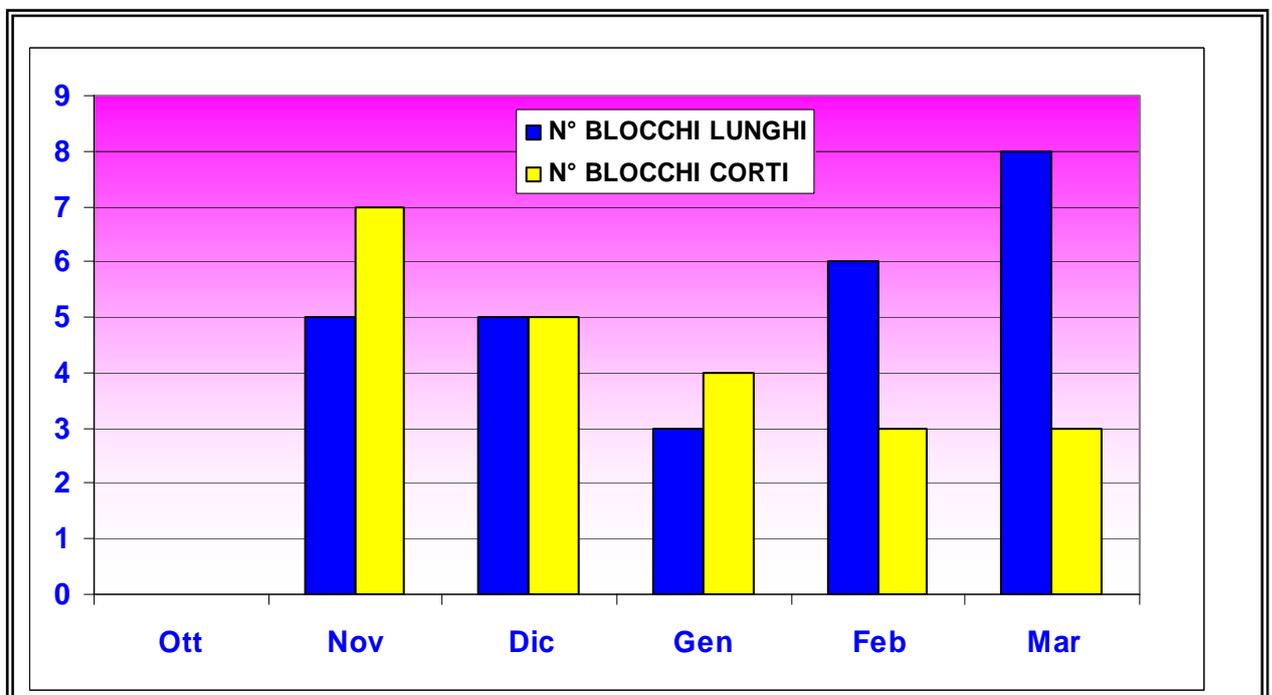


Figura J.8: Blocchi impianto di Rossiglione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

Nella Tabella J.6 sono riportati i rendimenti a regime per i diversi mesi; come si può evidenziare il rendimento globale dell'impianto a regime sale ad un valore medio complessivo di 0,50

MESE	N° BLOCCHI LUNGI	N° BLOCCHI CORTI	ORE DI TRANSITORIO	CONSUMI DI CIPPATO (kg)	CONSUMO DI CIPPATO NEI BLOCCHI (kg)	CONSUMO DI CIPPATO A REGIME (kg)	ENERGIA PRODOTTA (MWh)	ENERGIA PRODOTTA NEI BLOCCHI	ENERGIA PRODOTTA A REGIME	RENDIMENTO GLOBALE A REGIME
OTTOBRE	0	0	0	30000	0	30000,0	44,5	0,00	44,50	0,45
NOVEMBRE	5	7	28	98000	28980,4	69019,6	109,7	8,57	101,13	0,44
DICEMBRE	5	5	25	74500	27258,8	47241,2	155,0	7,65	147,35	0,94
GENNAIO	3	4	13	64500	17216,1	47283,9	122,2	3,98	118,22	0,75
FEBBRAIO	6	3	24	100000	30128,1	69871,9	143,1	7,34	135,76	0,59
MARZO	8	3	33	104000	39310	64690	131,8	10,10	121,70	0,57
TOTALE	27	22	123	471000	142893,4	328106,6	706,2	37,64	668,56	0,61

Tabella J.6: Rendimenti globali impianto di Rossiglione in funzionamento a regime



Analogamente a quanto è stato fatto in precedenza si rappresenta graficamente l'andamento del rendimento globale mensile in condizioni di regime. In particolare:

- Figura J.9: Rendimento globale dell'impianto di Rossiglione (linea blu) rispetto al valore medio (linea rosa) in condizioni di regime;
- Figura J.10: Rendimento globale dell'impianto di Campo Ligure (linea blu) e di quello di Rossiglione (linea rosa) in condizioni di regime;

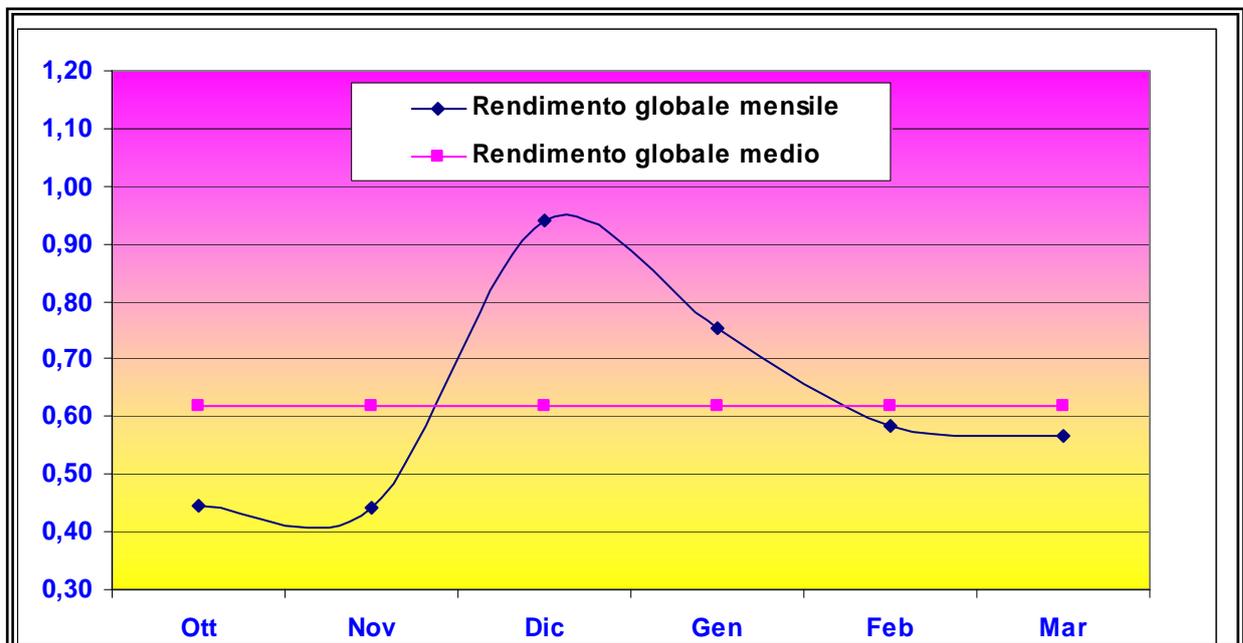


Figura J.9: Rendimento globale mensile e medio impianto di Rossiglione in funzionamento a regime

La figura J.9 mostra un picco di rendimento molto marcato nei mesi più freddi (quindi con una maggiore richiesta termica delle utenze) ed in particolare nel mese di Dicembre, nel quale invece il rendimento globale risultava fortemente influenzato dalla presenza di numerosi blocchi, 5 dei quali di lunga durata; il rendimento evidenziato appare tuttavia verosimilmente un po' sovrastimato, probabilmente in conseguenza dei calcoli effettuati, basati su medie e relazioni empiriche; si può comunque ipotizzare un valore reale leggermente superiore a quello riscontrato nel mese di Gennaio che ha invece risentito del periodo di non funzionamento dell'utenza Ospedale.

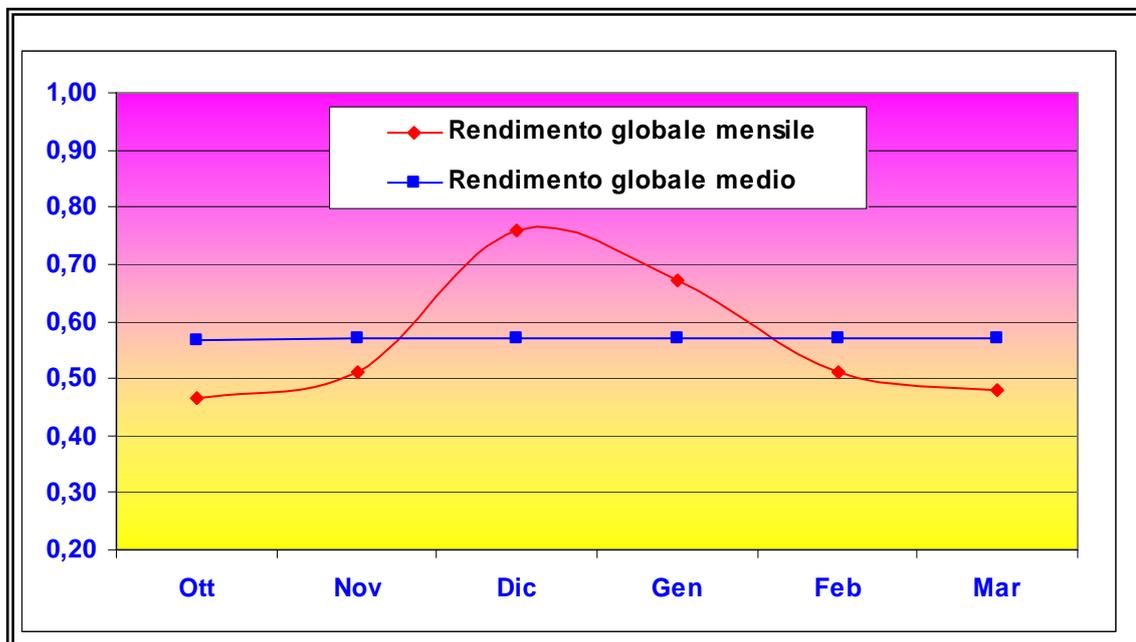


Figura J.10: Rendimento globale mensile e medio dei due impianti in funzionamento a regime

A questo punto della trattazione è utile valutare in modo approssimativo quale sia l'incidenza dei blocchi di lunga e corta durata sul rendimento complessivo dell'impianto, riferendoci ai quantitativi massici di biomassa "sprecata"; una trattazione più accurata e parametrizzata del problema sarà affrontata nel paragrafo dedicato all'analisi delle perdite.

La tabella J.7 riporta proprio i quantitativi massici di biomassa consumati durante i blocchi per riportare la caldaia a regime.



COMUNE	BLOCCO LUNGO					BLOCCO CORTO				
	mc (kg/s)	Mc (kg)	N°	(Mc)Tot (kg)	(%)	mc (kg/s)	Mc (kg)	N°	(Mc)Tot (kg)	(%)
Rossiglione	0,319	4590,9	27	123954,3	26,32	0,120	860,8	22	18937,6	4,02
Media	0,280	4024,8	27	108669,6	23,07	0,105	756,0	22	16632	3,53

Tabella J.7: Incidenza dei blocchi sul rendimento

Si evidenzia in modo molto chiaro come la causa principale di perdita sia dovuta ai blocchi definiti lunghi, ossia con durata di circa 4 ore.

LE CENERI

La produzione oraria di ceneri è strettamente correlata al tipo di cippato utilizzato nel processo di combustione essendo il quantitativo di ceneri in esso presente dipendente dalla specie di biomassa utilizzata. Monitorare questa quantità significa quindi poter stabilire quale quota parte della risorsa non viene utilizzata dal processo di combustione ed inoltre individuare la provenienza del cippato che produce più ceneri.

Nel nostro caso specifico il cippato è interamente costituito dal legno vergine di ceduo proveniente dalla Valle Stura; il quantitativo di ceneri monitorato è circa 0,01-0,02% in peso della biomassa in ingresso. Tale valore è molto basso anche alla luce del tenore di umidità del materiale utilizzato.

LE EMISSIONI EVITATE ED IL RISPARMIO DELLE FONTI TRADIZIONALI

Gli impianti a biomassa forestale non si devono porre l'obiettivo di sostituire gli impianti tradizionale a combustibile fossile, bensì di integrare la loro produzione energetica permettendo così di risparmiare gasolio o metano e di contenere le emissioni di anidride carbonica, il gas serra per eccellenza.



Per il calcolo delle tonnellate di CO₂ evitate con la combustione di cippato forestale per la generazione di calore ed acqua calda sanitaria si può fare riferimento alla letteratura (Jungmeier 2000):

- Gasolio: 0,48 t CO₂/MWh;
- Metano: 0,367 t CO₂/MWh;

Per il calcolo delle tonnellate equivalenti di petrolio risparmiate si deve tenere presente che il tep equivale alla quantità di energia ottenibile bruciando 1.000 Kg di petrolio (41,8 GJ o 11,6 MWh).

In riferimento all'impianto di Rossiglione si ottengono i risultati riportati in tabella J.8

Cippato consumato (t)	Energia termica prodotta (MWh)	Anidride carbonica evitata (t CO ₂ /MWh)		Risparmio di fonti fossili (tep)
		Vs. Metano	Vs. Gasolio	
471,0	706,2	259,18	338,98	60,88

Tabella J.8: Principali indicatori di impatto ambientale impianto di Rossiglione

Di seguito viene eseguito il calcolo delle emissioni effettivamente evitate tenendo in considerazione il tipo di combustibile fossile utilizzato dalle utenze dell'impianto a biomasse forestali di Rossiglione prima della sua realizzazione:

UTENZA	Combustibile fossile	Anidride carbonica evitata (t CO ₂ /MWh)
Municipio/Cinema	Gasolio	99,98
Ospedale	Metano	98,80
Life	Metano	63,97
CRI	Metano	20,00
Totale	Gasolio	99,98
Totale	Metano	182,77
TOTALE	Gasolio + Metano	282,75

Tabella J.9: Anidride carbonica effettivamente evitate dall'impianto di Rossiglione



I CONSUMI ELETTRICI

La tab. J.10 che segue riporta i consumi elettrici connessi al funzionamento dell'impianto di Rossiglione. Indicano l'assorbimento di ausiliari dell'impianto, quali sistemi di sollevamento, di controllo e dell'illuminazione.

MESE	ENERGIA ELETTRICA CONSUMATA [kWh]
OTTOBRE	4567
NOVEMBRE	9442
DICEMBRE	8660
GENNAIO	8741
FEBBRAIO	9142
MARZO	9639
APRILE	4693
TOTALE	54884

Tabella J.10: Consumi elettrici dell'impianto di Rossiglione

**Tabella riassuntiva Rossiglione**

ROSSIGLIONE			
	PARAMETRO	UNITA'	VALORE
	Volumetria cippato	mc	1430
	Quantità di cippato	q	4710
	Densità media	kg/mc	3,29
	Potere calorifico inferiore	kJ/kg	11951,3
	Consumo specifico medio	kg/kWh	0,67
	Energia termica Ottobre	MWh	44,5
	Energia termica Novembre	MWh	109,7
	Energia termica Dicembre	MWh	155,0
	Energia termica Gennaio	MWh	122,2
	Energia termica Febbraio	MWh	143,1
	Energia termica Marzo	MWh	131,8
	Energia termica totale	MWh	706,2
	Numero blocchi lunghi		27
	Numero blocchi corti		22
	Incidenza dei blocchi lunghi sul consumo di cippato	%	26,32
	Incidenza dei blocchi corti sul consumo di cippato	%	4,02
	Incidenza totale dei blocchi sul consumo di cippato	%	30,34
	Rendimento globale con i blocchi		0,45
	Funzionamento vs pieno carico		0,25
	Rendimento globale a regime		0,61
	Risparmio di combustibili fossili tradizionali	tep	60,88
	Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. metano)	t CO ₂	259,18
	Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. gasolio)	t CO ₂	338,98
	Consumi elettrici	kWh	54884



I DUE IMPIANTI NEL COMPLESSO

L) VALORI GLOBALI

In questo paragrafo vengono riportate le Figure e le Tabelle relative ai dati complessivi precedentemente analizzati in modo separato per i due impianti di Campo Ligure e Rossiglione.

MESE	QUANTITA' [q]	ENERGIA [MWh]	CONSUMO SPECIFICO [kg/kWh]
OTTOBRE	420	62,8	0,67
NOVEMBRE	1375	163,5	0,84
DICEMBRE	1605	266,8	0,60
GENNAIO	1545	257,0	0,60
FEBBRAIO	1695	230,3	0,74
MARZO	1730	215,3	0,80
TOTALE	8370	1195,6	0,70

Tabella L.1: Consumi specifici di cippato globale dei due impianti

MESE	QUANTITA' [q]	ENERGIA [MWh]	CONSUMO SPECIFICO [kg/kWh]	RENDIMENTO GLOBALE
OTTOBRE	420	62,8	0,67	0,45
NOVEMBRE	1375	163,5	0,84	0,36
DICEMBRE	1605	266,8	0,60	0,50
GENNAIO	1545	257,0	0,60	0,50
FEBBRAIO	1695	230,3	0,74	0,41
MARZO	1730	215,3	0,80	0,37
TOTALE	8370	1195,6	0,70	0,43

Tabella L.2: Rendimenti complessivi impianti



MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

MESE	ENERGIA [MWh]	NUMERO DI ORE [h]	ENERGIA TEORICA [MWh]	FUNZIONAMENTO vs PIENO CARICO
OTTOBRE	62,75	280	287,0	0,22
NOVEMBRE	163,45	784	758,8	0,22
DICEMBRE	266,8	868	824,6	0,32
GENNAIO	256,95	868	824,6	0,31
FEBBRAIO	230,31	812	771,4	0,30
MARZO	215,33	868	824,6	0,26
TOTALE	1195,59	4480	4291	0,28

Tabella L.3: Funzionamento impianti rispetto alla condizione di pieno carico

MESE	RENDIMENTO GLOBALE CAMPO LIGURE	RENDIMENTO GLOBALE ROSSIGLIONE	RENDIMENTO GLOBALE COMPLESSIVO
OTTOBRE	0,48	0,45	0,47
NOVEMBRE	0,58	0,44	0,51
DICEMBRE	0,58	0,94	0,74
GENNAIO	0,59	0,75	0,67
FEBBRAIO	0,43	0,59	0,51
MARZO	0,39	0,57	0,48
TOTALE	0,50	0,61	0,56

Tabella L.4: Rendimento globale dei due impianti in funzionamento a regime

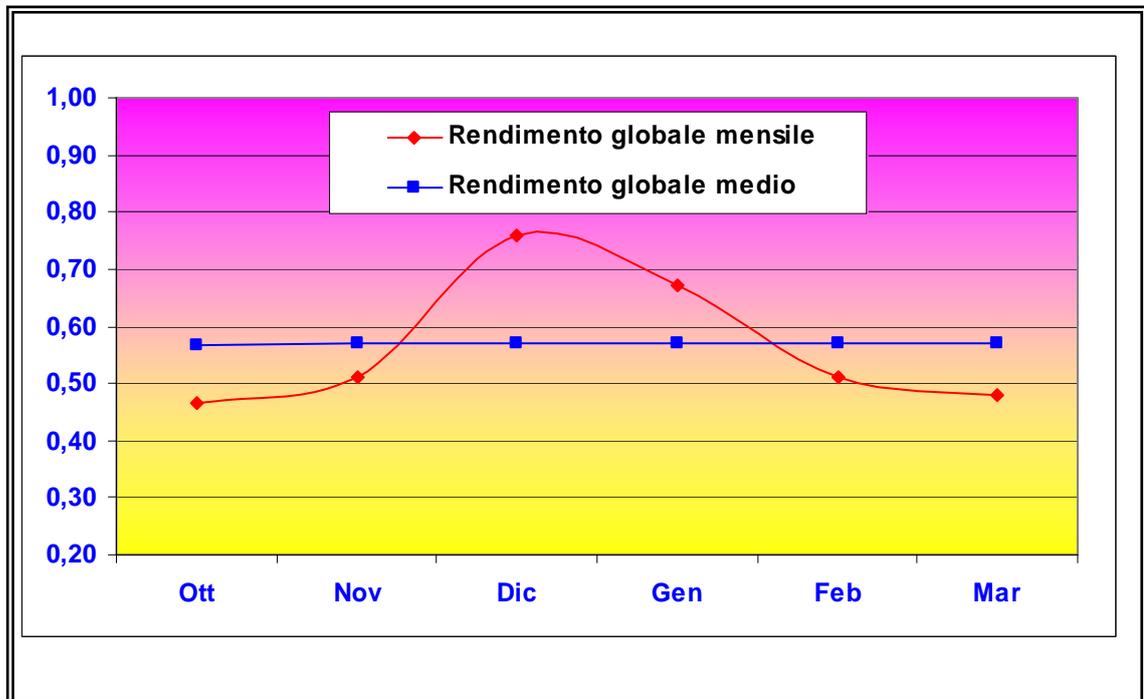


Figura L.1: Rendimento globale mensile e medio dei due impianti in funzionamento a regime

**Tabella riassuntiva dei due impianti**

TOTALE		
PARAMETRO	UNITA'	VALORE
Volumetria cippato	mc	2540
Quantità di cippato	q	8370
Densità media cippato	kg/mc	3,35
Potere calorifico inferiore cippato	kJ/kg	11968,85
Consumo specifico medio	kg/kWh	0,70
Energia termica Ottobre	MWh	62,8
Energia termica Novembre	MWh	163,5
Energia termica Dicembre	MWh	266,8
Energia termica Gennaio	MWh	257,0
Energia termica Febbraio	MWh	230,3
Energia termica Marzo	MWh	215,3
Energia termica totale	MWh	1195,6
Numero blocchi lunghi		47
Numero blocchi corti		49
Incidenza dei blocchi lungo sul consumo di cippato	%	22,60
Incidenza dei blocchi corti sul consumo di cippato	%	3,50
Incidenza totale dei blocchi sul consumo di cippato	%	26,10
Rendimento globale con i blocchi		0,43
Funzionamento vs pieno carico		0,28
Rendimento globale a regime		0,56
Risparmio di combustibili fossili tradizionali	tep	103,07
Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. metano)	t CO ₂	438,79
Emissioni di anidride carbonica evitate (vs. gasolio)	t CO ₂	573,89



M) ANALISI DELLE PERDITE

Come è emerso dai dati di monitoraggio riportati nei paragrafi precedenti, entrambe le centrali hanno avuto rendimenti molto inferiori rispetto a quelli ipotizzati preventivamente. Le attività di monitoraggio sono state condotte in fasi differenti proprio con lo scopo di analizzare separatamente quanto possano realmente incidere sul rendimento finale la qualità del combustibile (Fase 1), il funzionamento della centrale termica (Fase 2) e la richiesta termica (Fase 3).

In questo paragrafo verrà effettuata una trattazione unica relativa ai due impianti e basata sui valori medi dei parametri significativi di riferimento.

INCIDENZA DELLA BIOMASSA

Il cippato alla bocca degli impianti aveva mediamente un valore di contenuto idrico del 49% corrispondente approssimativamente ad un valore di umidità pari al 100%, ben superiore al valore massimo del 60% ipotizzato in fase di progetto.

Le caldaie Uniconfort di Campo Ligure e Rossiglione sono impianti che garantiscono un buon rendimento di combustione fino a valori di umidità del combustibile non superiori al 60%, pertanto risulta naturale attendersi un funzionamento non ottimale delle stesse.

In particolare, la figura M.1 riporta la variazione del rendimento globale della caldaia al variare dei valori di umidità del cippato.

Dal grafico si deduce che per un valore di umidità del 100% circa la potenza termica teorica resa scende ad un valore del 69% circa (-31%); dal momento che il rendimento di combustione per le caldaie in oggetto vale circa 85%, ne consegue che il rendimento globale dell'impianto di generazione termica è di circa il 60% (-31%).

Alla luce di queste considerazioni, inserendo il valore appena calcolato nella [E.1] sotto riportata si ottiene:

$$\eta = \eta_c * \eta_{rete}$$

$$\eta = 0,6 * 0,96 = 0,57$$

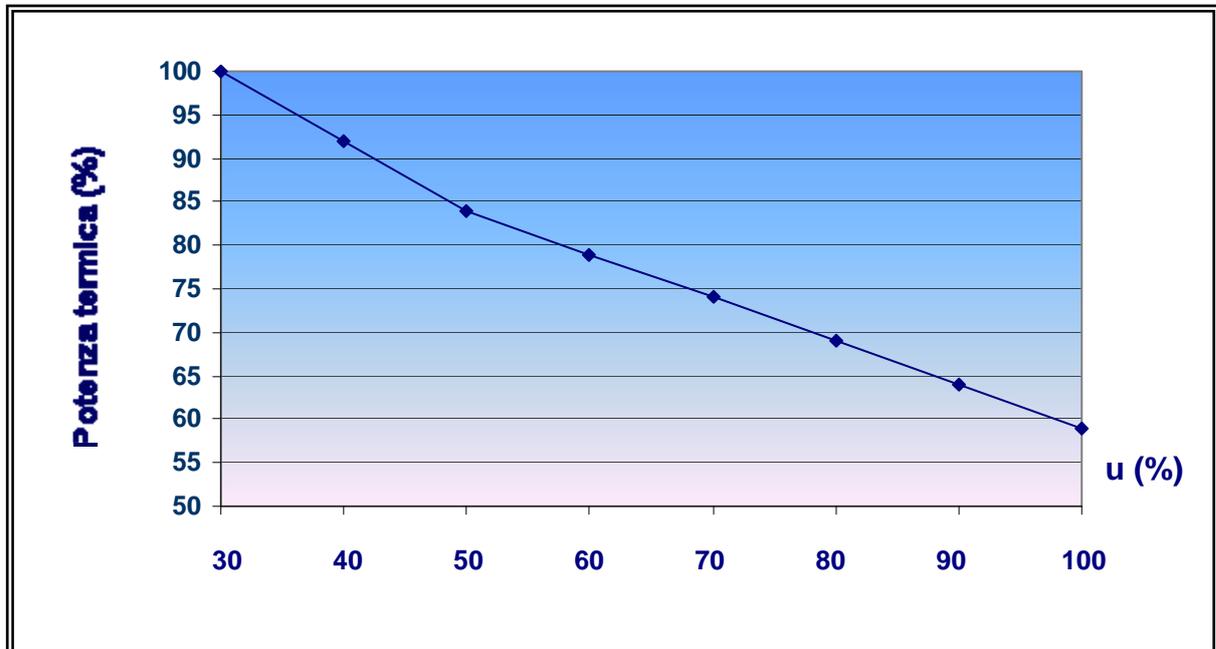


Figura M.1

Diagramma di declassamento della potenzialità resa in funzione dell'umidità del combustibile utilizzato

Quindi, mantenendo inalterate le caratteristiche della biomassa in ingresso il rendimento massimo teorico delle centrali è pari al 57%.

**LA RICHIESTA TERMICA**

La richiesta termica è stata molto inferiore ai dati di progetto ma in linea con quanto ci si attendeva dalle valutazioni preventive; in accordo con la Legge 10/91 il dimensionamento degli impianti è stato fatto prevedendo periodi di contemporaneità delle singole utenze, considerando un numero di ricambi d'aria orari secondo quanto imposto dalle normative vigenti ed un periodo di riscaldamento pari a quello della fascia di riferimento per ogni sottostazione (14 ore per 173 giorni all'anno – periodo di monitoraggio).

Il funzionamento della caldaie in off-design determina una diminuzione del rendimento complessivo che risulta difficile da calcolare senza potere disporre delle curve di carico delle caldaie Uniconfort (dati non forniti dal fornitore). Tale dato si può valutare sulla base delle esperienze riportate in letteratura, tenendo però presente che le considerazioni riportate nel paragrafo precedente determinano una variazione della percentuale di funzionamento delle caldaie rispetto alle potenze nominali di targa.

Infatti, l'analisi della potenza effettiva resa dalle caldaie evidenzia che l'energia teorica complessiva producibile dai due impianti deve essere inferiore del 31% rispetto ai valori indicati nella Tabella M.1; questo determina una variazione in positivo della percentuale di funzionamento delle caldaie rispetto ai valori nominali di targa. In parole semplici, vuole dire, per esempio, che una caldaia che ha una potenza termica resa di 1000 kW quando viene alimentata con una biomassa avente l'80% di umidità funziona come una caldaia con potenza termica resa da 690 kW (-31% circa).

MESE	ENERGIA [MWh]	NUMERO DI ORE [h]	ENERGIA TEORICA [MWh]	FUNZIONAMENTO vs PIENO CARICO
OTTOBRE	62,75	280	287,0	0,22
NOVEMBRE	163,45	784	758,8	0,22
DICEMBRE	266,8	868	824,6	0,32
GENNAIO	256,95	868	824,6	0,31
FEBBRAIO	230,31	812	771,4	0,30
MARZO	215,33	868	824,6	0,26
TOTALE	1195,59	4480	4291	0,28

Tabella M.1: Funzionamento impianti rispetto alla condizione di pieno carico



In queste condizioni medie di funzionamento, sulla base delle curve di carico delle caldaie tradizionali reperibili in letteratura, mantenendo inalterate le caratteristiche della biomassa in ingresso **il rendimento massimo teorico delle centrali scende a valori di circa il 50%.**

IL FUNZIONAMENTO DELLE CENTRALI TERMICHE

Le analisi condotte in relazione alle caratteristiche del combustibile ed alla richiesta termica complessiva evidenziano un abbassamento del rendimento dal valore teorico di progetto ad un valore effettivo di circa il 50%; in realtà, il rendimento effettivo misurato dalle attività di monitoraggio si attesta intorno a valori del 45-47% come evidenziano i dati della tabella L.2, questo significa che l'ulteriore perdita che si è verificata è legata al funzionamento del volume di controllo.

Le centrali sono dotate di un quadro elettronico in grado di monitorare in tempo reale i principali parametri di funzionamento:

- Temperatura di uscita acqua dallo scambiatore aria/acqua (°C)
- Temperatura di ritorno acqua allo scambiatore aria/acqua (°C)
- Temperatura del focolare (°C)
- Pressione al depressometro (mm)
- Tenore di ossigeno (%)
- Concentrazione di CO nei fumi (ppm)
- Conteggio di avviamento a freddo (s)
- Tempo di carico del cippato (s)
- Tempo di pausa tra un carico ed il successivo (s)
- Livelli di funzionamento (dal livello di mantenimento fino al livello 8)
- Temperatura fumi al camino (°C)

Le osservazioni di questi parametri sono state fatte con la stessa frequenza degli altri dati monitorati; lo studio di questi ha permesso di individuare altri parametri necessari per le valutazioni impiantistiche come il rendimento di caldaia ed il rendimento della rete, la perdita di calore nei fumi, etc.



Risulta molto difficile senza la possibilità di disporre di dati storici in continuo stabilire quanto incida ogni singolo malfunzionamento delle caldaie sul rendimento globale, ma è indubbio che il loro funzionamento determina una riduzione del rendimento complessivo dal 50% al 40%.

In primis, come già detto in precedenza, la principale causa della diminuzione del rendimento è attribuibile ai blocchi verificatesi per motivi di varia natura; nei paragrafi precedenti per ogni centrale è stata condotta un'analisi approssimativa mirata a valutare il quantitativo di cippato consumato per riportare ogni sistema a regime dopo una interruzione. Appurato il fatto che il funzionamento impiantistico delle caldaie incide per un 10% sul rendimento complessivo, a questo punto della trattazione risulta molto più significativo effettuare un'analisi di sensitività dei blocchi.

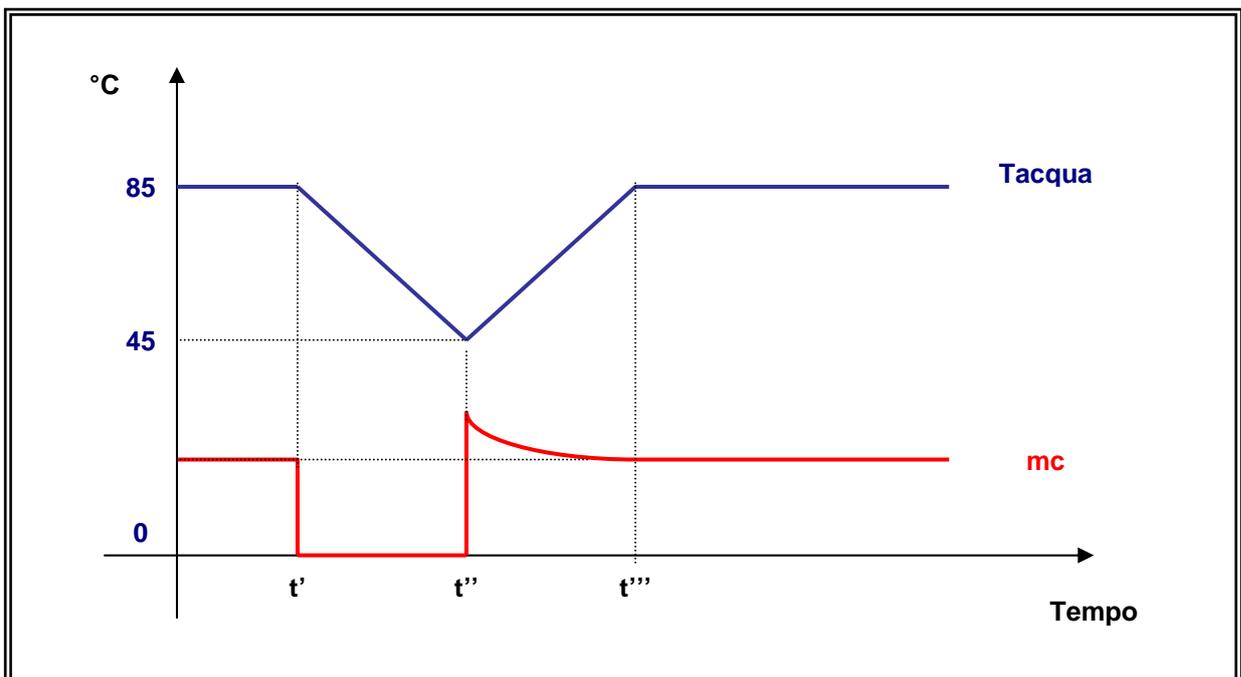


Figura M.2

Analisi della temperatura alla mandata della rete di teleriscaldamento e del consumo di combustibile in seguito ad un blocco generico di caldaia

t' : la caldaia si blocca;



$t'' < t < t'''$: la temperatura della rete scende con una velocità che dipende dalla potenza impegnata all'istante del blocco (più elevata è la potenza e più rapida è la diminuzione di temperatura); il consumo di combustibile si azzerava;

t'' : la caldaia riparte;

$t'' < t < t'''$: la temperatura della rete comincia a risalire con una velocità che dipende dalla potenza termica richiesta (più elevata è la potenza richiesta e più lento è l'incremento di temperatura, cioè maggiore è il tempo per riportare il sistema a regime); il consumo di combustibile è maggiore rispetto alla situazione di regime e tende a questo valore;

t''' : la situazione di regime è ripristinata.

Dalla figura M.2 si possono trarre delle importanti considerazioni: quando il sistema si blocca la temperatura comincia a scendere per cui le utenze, pur ricevendo ugualmente calore, ricevono una energia termica a più bassa entalpia che non deve essere considerata nel bilancio globale in quanto l'utenza potrebbe decidere di scollegarsi dal sistema qualora non possa ricevere calore ad una determinata temperatura. Inoltre, il consumo di biomassa, che fino a questo punto della trattazione è stato considerato costante, tende ad aumentare in proporzione nei transitori necessari per riportare a regime la caldaia.

Nella realtà il grafico riportato in figura M.2 non è simmetrico rispetto alla retta che passa per il punto di ripartenza della caldaia, al contrario mostra un andamento qualitativo differente al variare della potenza impegnata (Figura M.3).

Dal grafico si evince come, a parità di durata di tempo di fermata della caldaia, tanto maggiore è la richiesta termica al momento del blocco e tanto maggiore è la velocità di diminuzione della temperatura e di conseguenza anche il tempo necessario per riportare il sistema a regime.

Questo consente di affermare che un blocco incide in maniera tanto più significativa quanto più la caldaia sta funzionando in condizioni ottimali (cioè vicino alla potenza nominale di targa); ne consegue che, se gli impianti avessero funzionato a potenze



prossime di quelle di targa un numero così elevato di blocchi avrebbe determinato un rendimento catastrofico. Ecco perché prima di optare per l'inserimento di nuove utenze è necessario mettere a punto un sistema di teleallarme e di telecontrollo efficaci in grado di ridurre al minimo i tempi di intervento in caso di fermata dell'impianto.

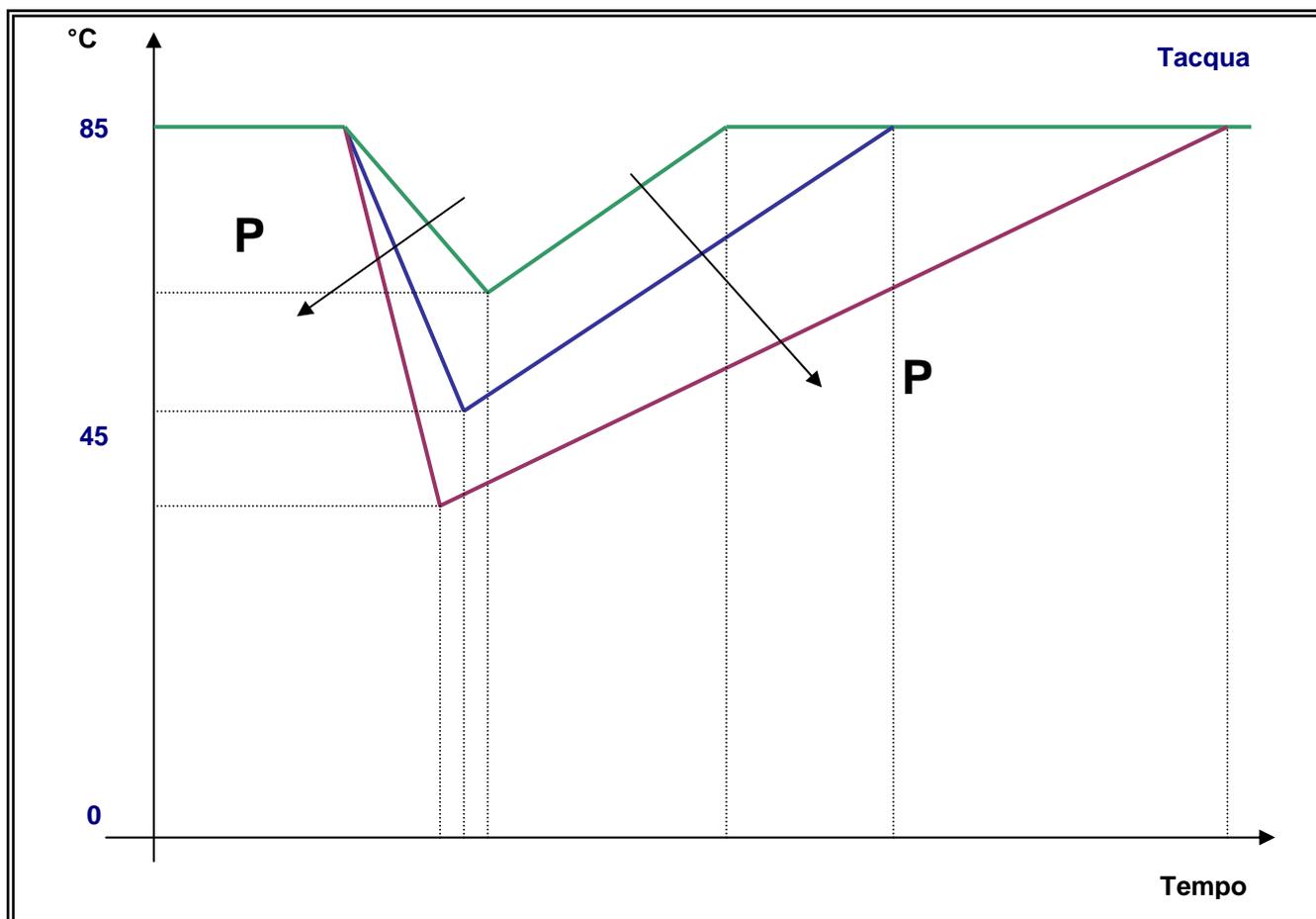


Figura M.3

Analisi di sensitività dei blocchi (temperatura alla mandata della rete) in funzione della potenza termica richiesta



La figura M.4 riporta gli andamenti delle variazioni di temperatura dopo una interruzione della caldaia al variare della potenza termica richiesta; i dati sono il risultato di una serie di estrapolazioni approssimative sui risultati verificati sperimentalmente; si può facilmente notare che se con l'impianto funzionante al 30% della potenza di targa in un'ora e mezza circa la temperatura passa da 85° C a 45° C, mentre nel caso di funzionamento al 70% della potenza di targa nello stesso intervallo di tempo la temperatura scende quasi fino a quella ambiente.

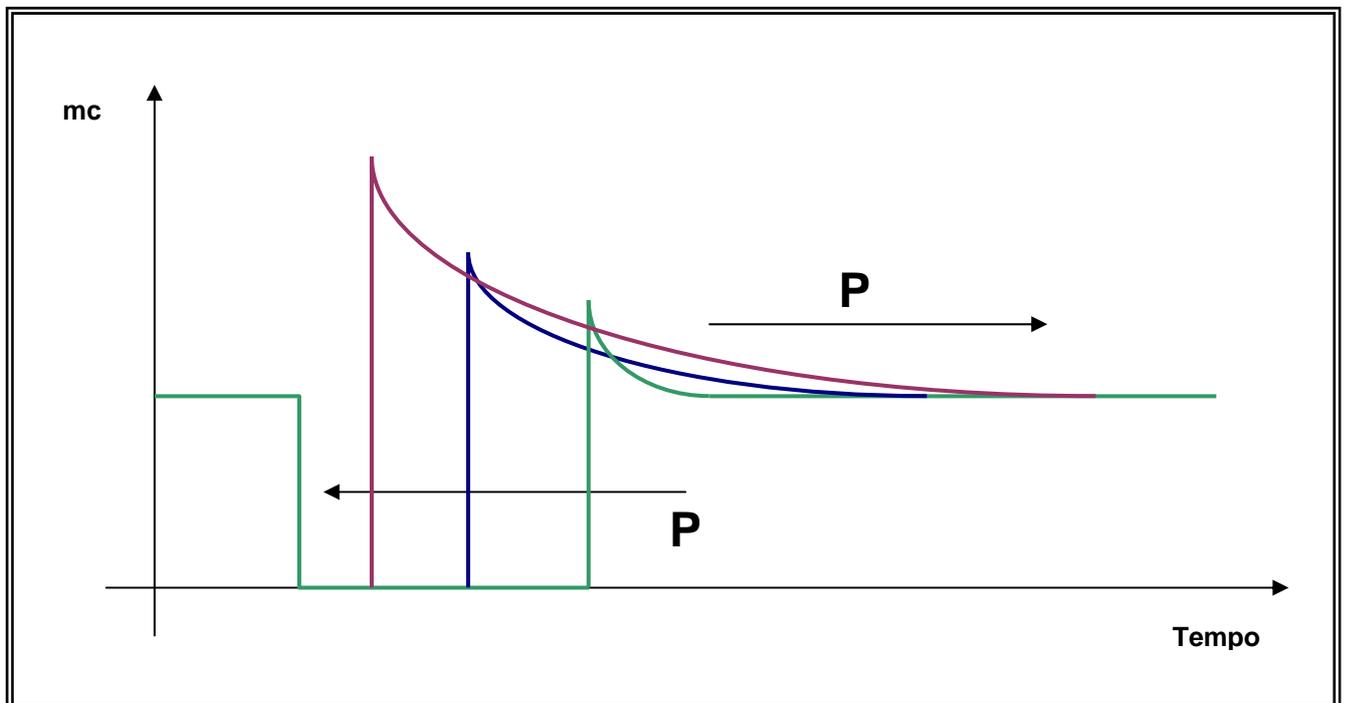


Figura M.4

Analisi di sensitività dei blocchi (consumo di biomassa) in funzione della potenza termica richiesta

In riferimento alla Figura M.5 si può provare a vedere quanto è il consumo di biomassa per riportare l'impianto di Rossiglione a regime dopo un blocco con l'impianto funzionante al 70% della potenza nominale di targa e con l'intervento risolutivo dell'operatore dopo un'ora e mezza (Figura M.6 – linea rosa); si tenga presente che i



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

risultati sono sempre ricavati da estrapolazioni dei dati sperimentali rilevati durante le attività di monitoraggio degli impianti funzionanti al 30% della potenza nominale di targa e con blocchi della durata massima di quattro-cinque ore.

Dal grafico si evince che la temperatura dell'acqua scende ad un valore di 20°C e che occorrono circa 7 ore per riportare il sistema a regime.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura M.5: Analisi di sensitività dei blocchi in funzione della potenza termica richiesta nell'impianto di Rossiglione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

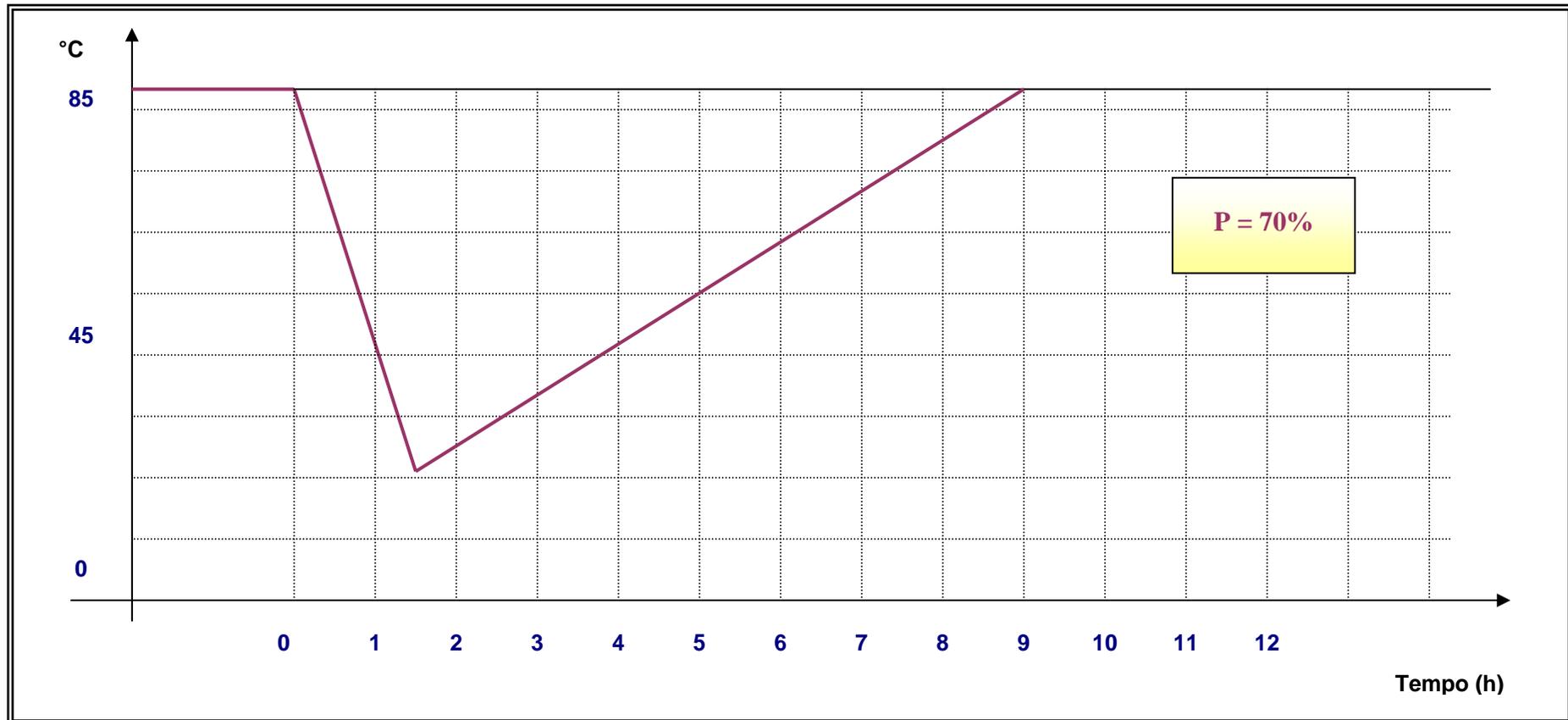


Figura M.6: Temperatura della mandata dell'acqua dell'impianto di Rossiglione dopo un blocco ($P = 70\% P_{nom}$)



Sostituendo nella [E.5] si ha:

$$m_c = \frac{\dot{m} * (1000 / 3600) * c_{p_{acqua}} * \Delta T}{H_i} = \frac{82 * (1000 / 3600) * 4,184 * 65}{9025,58} \cong 0,69 \text{ kg/s}$$

Da cui si ricava la quantità di cippato consumata per riportare il sistema a regime:

$$M_c = m_c * 3600 * 6,5 = 16150 \text{ kg} = 16,15 \text{ ton} = 45,9 \text{ m}^3$$

Si capisce quanto potrebbero incidere dei blocchi di lunga durata qualora il sistema funzionasse continuamente nelle migliori condizioni di potenza.

La biomassa utilizzata per riportare il sistema a regime non viene totalmente dispersa in quanto fornisce comunque energia alla rete; si tratta tuttavia di una produzione di calore a bassa entalpia.



3.0 CONCLUSIONI

La campagna di monitoraggio condotta relativamente alla stagione di riscaldamento 2007-2008, pur mostrando miglioramenti interessanti relativamente agli interventi modifiche apportate, ha evidenziato un funzionamento globale delle caldaie non ancora completamente ottimizzato.

Le cause principali del basso rendimento riscontrato, inferiore alle aspettative, sono attribuibili principalmente al frequente funzionamento in transitorio dovuto:

- 1) All'elevato numero di interruzioni, dovute principalmente al blocco della fotocellula della coclea di alimentazione;
- 2) Al funzionamento in condizioni molto lontane dal regime di potenza nominale: accentuato a Rossiglione nel periodo compreso tra Dicembre e Gennaio in cui non ha funzionato l'utenza Ospedale e a Campo Ligure nel periodo Febbraio-Marzo in cui due sottostazioni del Palazzotto non hanno funzionato e la scuola lo ha fatto a basso regime;
- 3) Al contenuto idrico elevato della biomassa "a bocca di caldaia" (sebbene migliorato alla consegna).

Per quanto riguarda il problema dei blocchi di cui al punto uno è stato installato un nuovo programma di telecontrollo e telegestione; questo è stato utilizzato a scopo di taratura già dal mese di Marzo dell'ultima stagione termica ed i benefici intravisti paiono notevoli in quanto, segnalando, grazie a parametri opportunamente fissati, le anomalie in tempi estremamente brevi rispetto al loro verificarsi dovrebbe consentire un abbattimento dei blocchi di lunga durata che sono quelli con un'incidenza maggiore sui rendimenti del sistema. Inoltre a Campo Ligure a partire dal mese di Marzo sono state sostituite le fotocellule, in quanto quelle in dotazione avevano una sensibilità troppo marcata che faceva incrementare a dismisura i blocchi. Altre modifiche che hanno fornito un primo effetto positivo sono state eseguite sulla coclea di estrazione dei silos. Questi interventi per la prossima stagione verranno ripetuti anche all'impianto di Rossiglione.



Il punto numero due individua quello che è attualmente il limite principale ai rendimenti elevati degli impianti e cioè un funzionamento lontano dalla situazione ottimale di pieno carico; per supplire a tale carenza a partire dalla stagione 2008-2009 a Campo Ligure verrà allacciata una nuova utenza da 600 kW di potenza nominale.

Infine il punto numero tre riguardante la qualità del cippato a bocca di caldaia, presuppone diversi livelli di intervento. Innanzitutto, come è stato fatto nell'ultima stagione termica, si deve continuare ad operare sulla qualità del cippato all'ingresso del silos tramite la sua stagionatura parziale, eseguita in maniera naturale, per un periodo di almeno 6-9 mesi.

Successivamente è opportuno mantenere, se non migliorare, la qualità del cippato che dal silos arriva alla bocca della caldaia; per far ciò nel mese di Febbraio è stato installato in ciascun silos un ventilatore, che consente un ricambio d'aria continuo al loro interno, ciò permette di allontanare l'umidità rilasciata dal legno conseguentemente alle alte temperature dovute ai fenomeni di fermentazione che si innescano nel periodo di permanenza del cippato all'interno dei silos stessi. Tuttavia l'efficacia di questo sistema risulta fortemente limitata dalle infiltrazioni di acqua nei silos, particolarmente marcate in concomitanza di eventi meteorici (neve e pioggia); si ritiene che la principale fonte di infiltrazioni sia il sistema di chiusura dei silos che si dovrà provvedere a migliorare nel periodo estivo in quanto rappresenta una condizione fondamentale per il miglioramento del funzionamento degli impianti.

In conclusione, alla luce delle considerazioni sopra esposte, per giungere all'ottimizzazione del sistema si ritiene prioritario intervenire sulla qualità del cippato a bocca di caldaia e sull'utilizzo a carichi parziali degli impianti. Gli interventi che si suggeriscono per raggiungere tali scopi sono:

- 1) Impermeabilizzazione dei silos con particolare riguardo ai punti maggiormente critici, rappresentati dai sistemi di chiusura, attraverso i quali si hanno notevoli infiltrazioni d'acqua.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

- 2) Allaccio di nuove utenze per poter aumentare il funzionamento degli impianti in condizioni di on-design; l'allaccio di nuove utenze dovrebbe essere accompagnato dall'installazione di accumulatori inerziali in grado di collimare i picchi di richiesta termica.

- 3) Inserire accumulatori inerziali con lo scopo di collimare i picchi di richiesta termica, derivanti dall'inserimento di nuove utenze o da transitori specifici, per far funzionare le caldaie il più vicino possibile alle potenze nominali di targa.



CONDIZIONI DI FUNZIONAMENTO		RENDIMENTO GLOBALE
1	Umidità del cippato = 80% Funzionamento vs. potenze nominali = 30% 25 blocchi di lunga durata (4 ore) 25 blocchi di corta durata (2 ore)	$\mu = 40\%$
2	Umidità del cippato = 80% Funzionamento vs. potenze nominali = 30% Nessun blocco	$\mu = 50\%$
3	Umidità del cippato = 80% Funzionamento vs. potenze nominali = 80-100% Nessun blocco	$\mu = 57\%$
4	Umidità del cippato = 30% Funzionamento vs. potenze nominali = 30% Nessun blocco	$\mu = 55\%$
5	Umidità del cippato = 30% Funzionamento vs. potenze nominali = 80-100% 25 blocchi di corta durata (inferiore alle due ore)	$\mu = 70\%$
6	Umidità del cippato = 30% Funzionamento vs. potenze nominali = 80-100% Nessun blocco	$\mu = 80\%$

Tabella M.2

Confronto dei rendimenti dell'attuale scenario con quelli auspicabili in futuro

A conclusione resta da ribadire come l'attività che ha portato alla stesura del presente documento sia stata essenzialmente autofinanziata dal TPG, pur con tutto il supporto logistico della Comunità Montana Valli Stura ed Orba e di S.O.B.E.A.

L'importo simbolico (12.500 € per tre anni di attività di monitoraggio) messo a disposizione della Regione Liguria ha consentito a malapena la copertura delle spese di trasferta e di personale dei primi mesi di lavoro, impedendo di effettuare investimenti in grado di migliorare le tecniche di monitoraggio.



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

ALLEGATO A

ALLEGATO FOTOGRAFICO



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 1: La caldaia di Campo Ligure



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 2: La caldaia di Rossiglione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 2: Il silo di stoccaggio



Figura 4: Particolare della rete di teleriscaldamento di Rossiglione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 5: La camera di combustione



Figura 6: Le ceneri



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 7: Il quadro elettronico



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 8: La griglia mobile



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 9: La camera di combustione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 10: La cella di essiccazione situata vicino alla caldaia di Rossiglione



Figura 11: Una sottostazione



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



Figura 12: La cippatrice situata nell'area di cippatura



Figura 13: Lo stoccaggio di emergenza



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008



La centrale di Campo Ligure



Il palazzetto dello sport



La scuola media Rosselli



Comune

Figure 14 – 15 – 16 – 17: Campo Ligure (centrale ed utenze)



Università degli Studi di Genova



Thermochemical Power Group

MONITORAGGIO IMPIANTI A BIOMASSA FORESTALE DI CAMPO LIGURE E ROSSIGLIONE: STAGIONE 2007/2008

